

SINERGIA

Revista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Artigos

- Implantação do MES para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação de compressores de eletrodomésticos
- Modelo neural com atraso de tempo para a previsão do INCC
- Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estados: simulação com sistemas de 6 e 14 barras do IEEE
- Sistema microprocessado para monitorar o nível de água, utilizando sensor capacitivo
- A propriedade intelectual e o IFSP – uma discussão necessária
- Implementação direta de uma rede neural artificial em *hardware* e sua aplicabilidade no reconhecimento de padrões para separação de frutas
- Simulação numérica do processo de vazamento e de solidificação da liga Cu-5%Zn em um molde permanente
- An approach to the management of technological projects
- Modelagem e otimização de componentes em sistemas CAD 3D com a utilização de geometrias paramétricas
- Aplicação do método dos mínimos quadrados: problema do paraquedista em queda livre
- Algumas aplicações das ligas com memória de forma *Shape Memory Alloys* - SMA
- Desafios do processo de inovação

Edição especial
Inovação Tecnológica



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO

Volume 12 - N. 1
janeiro-abril de 2011

PRESIDENTA DA REPÚBLICA

Dilma Rousseff

MINISTRO DA EDUCAÇÃO

Fernando Haddad

**SECRETÁRIO DA EDUCAÇÃO
PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA DO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

Eliezer Moreira Pacheco

REITOR

Arnaldo Augusto Ciquielo Borges

**PRÓ-REITOR DE PESQUISA
E INOVAÇÃO**

João Sinohara da Silva Sousa

PRÓ-REITORA DE ENSINO

Lourdes de Fátima Bezerra Carril

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO

Garabed Kenchian

PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO

Yoshikazu Suzumura Filho

**PRÓ-REITOR DE
DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL**

Gersony Tonini Pinto

**Ministério
da Educação**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA

SINERGIA

"associação de vários fatores
para uma ação coordenada"

REVISTA DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SÃO PAULO

QUADRIMESTRAL

ISSN 2177-451X

Sinergia

São Paulo

v. 12

n. 1

p. 01-124

jan./abr. 2011

EDITOR

Dr. Raul de Souza Püschel

CONSELHO EDITORIAL

Dra. Ana Lúcia Gatti - Universidade São Judas Tadeu

Dra. Carla Witter - Universidade São Judas Tadeu

Dr. Carlos Frajuca - IFSP

Dra. Diana Vieira - Instituto Politécnico do Porto

Dra. Elza Maria Tavares - Unicastelo

Dra. Geraldina Porto Witter - Livre-docente Unicastelo

Dr. João Sinohara S. Sousa - IFSP

Dr. Leandro Oliveira - Universidade do Minho

Dr. Marcelo de Almeida Buriti - IFSP

Dr. Raul de Souza Püschel - IFSP

Dra. Suely Corvacho - IFSP

Dra. Vera Socci - Universidade de Mogi das Cruzes

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Cristine Vecchi/Mtb. 41974/SP

DIAGRAMAÇÃO, CHECAGEM, ARTE FINAL, IMPRESSA E ELETRÔNICA

Ademir Silva

MAPA RELAÇÃO DOS CAMPI IFSP

Fabio Villela

APOIO TÉCNICO - Karin Kagi

PROJETO GRÁFICO DE CONTRACAPA

Alessandro Rossi

TEXTO DE CONTRACAPA - Danielle Yura

DIVULGAÇÃO NACIONAL IMPRESSA

Ademir Silva/Adalberto Rodrigues de Queiroz

Regiane Cardoso de Oliveira/

Luciana Aparecida Santos de Barros/Giovani Jesus Teixeira

DIVULGAÇÃO ELETRÔNICA

Ademir Silva

CRÉDITOS DE PARTICIPAÇÃO ADMINISTRATIVA

Regina Mara Barbosa Lobo/Rosana Motta Senatore/
Edmur Frigeri Tonon/Suzana Mayumi Iha Chardulo/
Delma Aparecida dos Reis/Rodrigo Guimarães da Silva/
Kazuhiro Takahashi/Marli Zavala de Bogoná/
Celso Mendes de Assis/Nelson Lisboa Junior/
Klebson Rodrigues M. dos Santos

Regiani Aparecida Silva/Robson de Oliveira/
Ronaldo de Oliveira Martins/Deir Oliveira/
Paulo Henrique Ruffo/Paulo Ferrari

REVISÃO

Graziela Bachião P. de Paula (Inglês)

Raul de Souza Püschel (Português)

LISTA DE PARECERISTAS DESTE NÚMERO

Carlos Frajuca

Écio Naves Duarte

Eduardo Bock

Francisco Yastami Nakamoto

Givanildo Alves dos Santos

Harryson Júnio Lessa Gonçalves

João Sinohara da Silva Sousa

Paulo Roberto Barbosa



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO**

A Revista **SINERGIA** é uma publicação quadrimestral do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - São Paulo e tem por objetivo a divulgação de todo o conhecimento técnico, científico e cultural que efetivamente se alinhe ao perfil institucional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Os artigos publicados nesta Revista são de inteira responsabilidade de seus autores.

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos sem a prévia autorização dos autores.

Revista Sinergia

<http://www.cefetsp.br/edu/prp/sinergia>
sinergia@ifsp.edu.br

Raul Püschel tel.: 2763-7679
Ademir Silva tel.: 2763-7633/2763-7679

Rua Pedro Vicente, 625 — Canindé
São Paulo — SP — CEP 01109-010

SINERGIA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - São Paulo).
São Paulo, v.12 n.1, jan./abr., 2011

Quadrimestral

ISSN 2177-451X

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
- São Paulo - Periódicos.

CDU 001(05)“540.6”: (81)

SUMÁRIO

EDITORIAL

Raul de Souza Püschel 7

Implantação do MES para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação de compressores de eletrodomésticos
Débora Padovani/Carlos Frajuca/João Sinohara da Silva Sousa 9

Modelo neural com atraso de tempo para a previsão do INCC
Paulo Roberto Barbosa/Elaine Inacio Bueno..... 16

Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estados: simulação com sistemas de 6 e 14 barras do IEEE
Saulo Augusto Ribeiro Piereti/João Bosco Augusto London Jr./Alexandre Cláudio Botazzo Delbem/Newton Geraldo Bretas..... 23

Sistema microprocessado para monitorar o nível de água, utilizando sensor capacitivo
Antonio A. B. Ribeiro/Djalma Medeiros 37

A propriedade intelectual e o IFSP – uma discussão necessária
Elifas Levi da Silva 42

Implementação direta de uma rede neural artificial em *hardware* e sua aplicabilidade no reconhecimento de padrões para separação de frutas
Miguel Angelo de Abreu de Sousa/Thiago Felipe de Jesus Torres 50

Simulação numérica do processo de vazamento e de solidificação da liga Cu-5%Zn em um molde permanente
Moisés Meza Pariona/Siliane Machado/Noé Cheung 59

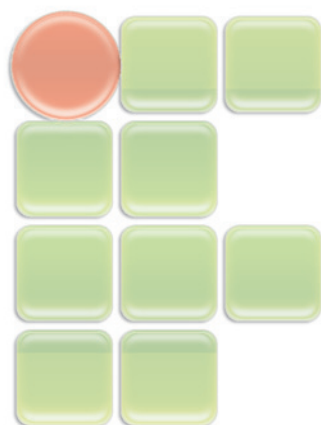
An approach to the management of technological projects
Laurentiu Neamtu..... 73

Modelagem e otimização de componentes em sistemas CAD 3D com a utilização de geometrias paramétricas
José Orlando Balastrero Junior/Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes..... 84

Aplicação do método dos mínimos quadrados: problema do paraquedista em queda livre
Tatiana Turina Kozama/Graziela Marchi Tiago..... **93**

Algumas aplicações das ligas com memória de forma *Shape Memory Alloys - SMA*
Weimar Silva Castilho/Edson Paulo da Silva **99**

Desafios do processo de inovação
Sergio Eugenio Menino/Helena Gemignani Peterossi/Senira Anie Ferraz Fernandez **109**



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO**

EDITORIAL

Raul de Souza Püschel¹

Este número especialmente discutirá questões referentes à inovação tecnológica e a assuntos correlatos, muitos deles apresentados no último Consistec.

O primeiro trabalho, “Implantação do MES para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação de compressores de eletrodomésticos”, mostra a atualidade do MES (*Manufacturing Execution System*), frente a modelos de gestão que se tornaram obsoletos em razão do crescimento produtivo na indústria, com o concomitante emprego de novas tecnologias. Também foi utilizado o conceito de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) neste estudo para se calcular o desempenho de equipamentos da linha de produção. Com tais procedimentos, vislumbram-se formas de aumento de produtividade, o que é cada vez mais decisivo nos processos econômicos atuais.

O ensaio “Modelo neural com atraso de tempo para a previsão do INCC” investiga de que forma o uso de redes neurais artificiais consegue prever, de modo satisfatório, fenômenos temporais com elevado grau de não linearidade, como é o caso do índice Nacional de Custo da Construção.

O artigo “Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estados: simulação com sistemas de 6 e 14 barras do IEEE” demonstra de que modo o CRT (Configurador de Redes *Tracking*) possui muitas vantagens sobre CRs tradicionais, ao diminuir o tempo de processamento necessário, ao possibilitar a associação dos medidores de forma mais direta e simples e ao permitir “a atualização da tipologia da rede de forma mais rápida”.

O texto “Sistema microprocessado para monitorar o nível de água, utilizando sensor capacitivo” apresenta um procedimento menos imune às oscilações do nível de água. Vale-se, para tanto, do método capacitivo que é comparado ao de pressão hidráulica, utilizado como referência.

O estudo “A propriedade intelectual e o IFSP – uma discussão necessária” relata uma pesquisa realizada entre professores dos *campi* Cubatão e São Paulo deste Instituto Federal. Ao serem analisados os dados, percebeu-se que é muito comum ainda entre tais pesquisadores a falta da devida informação acerca da propriedade intelectual, o que causa certa estranheza quando se pensa que se está em uma instituição de ensino que deve estar atenta às novas tendências tecnológicas.

“Implementação direta de uma rede neural artificial em *hardware* e sua aplicabilidade no reconhecimento de padrões para separação de frutas” dialoga com trabalho apresentado, aqui na revista *Sinergia*, por um de seus autores. Descreve “a implementação direta de uma rede neural artificial em um tipo de circuito digital chamado FPGA”, que demanda menos energia e tem, entre outras, alta taxa de acerto.

Levando em conta, em seu experimento, a versão 9 do *software* ANSYS-FLOTRAN, o artigo “Simulação numérica do processo de vazamento e de solidificação da liga Cu-5%Zn em um molde permanente” não deixou de lado fenômenos tais como condições atmosféricas e influência da gravidade. Essa simulação, além de tudo, apresenta evidentes vantagens, como se verá, sobre a visualização experimental, por ser capaz de analisar “diversos fenômenos presentes no processo de vazamento e na solidificação”.

O texto “*An approach to the management of technological projects*”, que é uma contribuição de pesquisador estrangeiro de relevo em sua área, fala da importância de processos de supervisão capazes de permitir a gerência de projetos tecnológicos, bem como descreve diversos sistemas de gerenciamento.

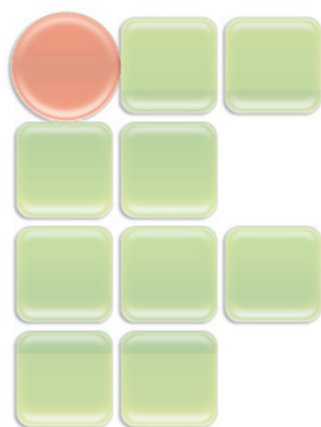
¹ Doutor em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP - Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Em “Modelagem e otimização de componentes em sistemas CAD 3D com a utilização de geometrias paramétricas”, é estudado como é possível obter economia de tempo e dinheiro, ao se corrigir um projeto ainda em sua fase inicial, graças ao emprego da Análise por Elementos Finitos, associada à modelagem paramétrica.

No estudo “Aplicação do método dos mínimos quadrados: problema do paraquedista em queda livre”, são comparados dois modelos ajustados pelo método referido, um linear e outro não. Os resultados foram, assim, confrontados “com modelos matemático, empírico e experimental através do método quadrático”.

O trabalho “Algumas aplicações das ligas com memória de forma *Shape Memory Alloys*” revela a utilidade das SMAs em várias áreas, principalmente na robótica, podendo ter aplicações diversas (desde aquelas que se referem ao controle vibracional até aquelas que se referem a campos como o da aeronáutica, o das tubulações, o da medicina e o da odontologia, por exemplo).

Encerrando a presente edição, o ensaio “Desafios do processo de inovação” analisa como, na atual fase das relações econômicas mundiais, já não cabe ao Brasil manter o papel de país que trilha o estágio da simples imitação, em que ocorria a capacitação tecnológica sob os moldes da absorção e da adaptação, mas sim lhe cabe a inserção em uma esfera de inovação e de criação, o que constitui de fato a verdadeira face da pesquisa.



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO**

IMPLANTAÇÃO DO MES PARA MELHORIA DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE FABRICAÇÃO DE COMPRESSORES DE ELETRODOMÉSTICOS

Débora Padovani¹

Carlos Frajuca²

João Sinohara da Silva Sousa³

As importantes transformações das organizações nos últimos anos mostram que diferentes princípios de qualidade, competitividade e inovação devem ser conjugados para o projeto de sistemas de controle da produção. Esta abordagem, que traz benefícios às organizações, é viável em virtude da evolução das estratégias de integração de sistemas e da tecnologia da informação. A necessidade de integração e disponibilização de informação do chão de fábrica para o nível corporativo é uma realidade que as indústrias enfrentam para se tornarem cada vez mais competitivas no mercado globalizado. Este trabalho apresenta a definição do conceito do sistema MES (Manufacturing Execution System), bem como apresenta e utiliza o conceito de OEE (Overall Equipment Effectiveness), índice comumente utilizado na indústria e que engloba indicadores de qualidade, eficiência e disponibilidade.

Palavras-chave: OEE. Sistema MES. Integração.

The important transformations of the organizations in the last years show that different principles of quality, competitiveness and innovation must be combined for the design of production control systems. This approach that brings benefits to the organizations is practicable due to the evolution of the systems integration strategies and the information technology. The need for integration and availability of information coming from the shop floor to the corporation level is a reality that industries aim to become more competitive in the global market. This study shows a definition of MES (Manufacturing Execution System), index usually used in industry and that includes quality, efficiency and availability information.

Keywords: MES. Manufacturing Execution. Execution System.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento produtivo da indústria no mundo deve-se principalmente ao uso de novas tecnologias. A economia mudou muito nos últimos tempos: novos produtos, novas

tecnologias, globalização de mercados, abertura econômica, avanço da ciência da informação, ganhos significativos em produtividade, aumento da concorrência e competitividade das empresas são as variáveis deste mercado.

1 Discente do Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo. E-mail: <dpadovani@aquarius.com.br>.

2 Professor do Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo - Doutor em Ciências. E-mail: <frajuca@gmail.com>.

3 Professor do Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo - Doutor em Engenharia. E-mail: <joao.ss@ifsp.edu.br>.

Os tradicionais modelos de gestão estão rapidamente ficando arcaicos e obsoletos frente às mudanças no conhecimento e na tecnologia. A procura de uma vantagem competitiva sustentável tem-se tornado a preocupação de cada gerente e de pessoas envolvidas no processo de gestão que estão preparadas para a realidade de mercado.

Na década de 1990, com a explosão da tecnologia da informação, verificou-se o uso de novas ferramentas para uma administração mais eficiente e eficaz dos processos. Com a proliferação de sistemas de controle, alinhados à tecnologia de informação, houve um aumento significativo de análise do chão de fábrica, criando, assim, uma grande vantagem competitiva. Este novo ambiente operacional mudou antigos paradigmas de gestão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os Sistemas MES têm como função realizar a interface entre os sistemas de controle e supervisão do chão de fábrica e o nível de gestão, ou como uma caixa de passagem para transportar dados para cima e para baixo. (SEIXAS FILHO, 1999).

A primeira organização a estabelecer um modelo para integração do MES com outros sistemas foi a MESA, que foi criada como *Manufacturing Execution Systems Association* e hoje é conhecida por *Manufacturing Enterprise Systems Association*.

As principais funcionalidades do MES, segundo a MESA, são:

- Alocação de *Status* de recurso: gerencia todos os recursos necessários à produção, como máquinas, materiais, documentos, receitas, qualificação de trabalhadores, etc. Inclui o gerenciamento do *status* do recurso em tempo real.
- Sequenciamento detalhado da produção: realiza o sequenciamento detalhado de operações (batelada, ordens de produção, etc.), levando em consideração uma ordenação ideal de sabores, cores, etc., para reduzir tempo de *setup*, otimizar atendimento a pedidos, diminuir

lead-time ou atender outro critério de otimização.

- Despacho de Unidades de Produção: gerencia o fluxo de “unidades de produção” na forma de “ordens de produção”, bateladas, etc. entre as diversas unidades do processo e adapta-se às necessidades de atendimento de novos pedidos e cancelamentos.
- Controle de Documentação: registra e controla toda a documentação de produção, incluindo gerenciamento de receitas, instruções de trabalho, instruções de *setup*, Electronic Batch Records, etc.
- Aquisição de Dados: consiste nas atividades de coleta de dados do nível 2 – como os de CLPs/SCADA, SDCDs –, e outras fontes de informação, como leitores de código de barras e RFIDs.
- Gerenciamento do Trabalho: gerencia todos os trabalhadores quanto à presença, cumprimento de escalas de turno e regimes de trabalho (horista, mensalista, etc.), qualificação necessária para a realização de determinada função, custo de mão de obra, etc.
- Gerenciamento da Qualidade: fornece análise em tempo real de amostras retiradas da produção. Pode incluir funções de SPC/SPQ e interface com sistemas LIMS e/ou equipamentos de ensaio em linha.
- Gerenciamento do Processo: monitora atividades de produção e auxilia na tomada de decisão para corrigir o rumo da produção de forma a atender objetivos do negócio.
- Gerenciamento da Manutenção: direciona e acompanha as atividades de manutenção de equipamentos de produção. Mantém histórico das operações de manutenção.
- Rastreabilidade do Produto e Genealogia: proporciona visibilidade sobre o estado corrente do trabalho, envolvendo quem faz a operação, o material e os componentes utilizados com identificação do fornecedor, do número do lote ou número de série, etc.
- Análise de Performance: fornece resultados quantitativos do andamento da produção, incluindo KPIs sobre utilização de recursos, ritmo, perdas e retrabalho, etc.

A implementação do MES tem por objetivos:

- Otimizar a utilização dos equipamentos da planta, do pessoal e dos materiais através de uma visão completa da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE), obtendo, assim, maior produção com menor custo;
- Controlar a qualidade do produto e aumentar a capacidade do processo para reduzir perdas de produção, refugos e custos de retrabalho;
- Aumentar a agilidade de produção, diminuir o tempo dos ciclos de produção e reduzir o inventário, ganhando conhecimento e controle das operações da produção em tempo real.

O MES sincroniza a empresa, fechando o elo entre os sistemas da planta e os sistemas de negócio, ou seja, ligando a área administrativa com o chão de fábrica.

3 OEE (*OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS*)

O Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*) é uma ferramenta utilizada para calcular o desempenho de equipamentos da linha de produção. A evolução do índice mostra que as ações implementadas nos equipamentos e no chão de fábrica como um todo estão aumentando a eficiência e a qualidade da planta.

Para ter o Índice de Eficiência Global do Equipamento correto é necessário prover as informações adequadas para direcionar ações de melhoria nos equipamentos, de maneira que as perdas de produção sejam registradas e corrigidas, possibilitando uma análise fidedigna da linha de produção. Todas as paradas de linha devem ser registradas, anotando-se data, hora, motivo de parada e tempo em que ocorreu. Com o registro destes dados, é possível, ao final de um período determinado (semana, mês, etc.), realizar uma análise das perdas, visualizando-se, assim, os fatores que mais afetam a produtividade.

O cálculo do OEE envolve três fatores: disponibilidade, qualidade e eficiência.

A disponibilidade é dada pela porcentagem do tempo em que o equipamento é utilizado efetivamente em atividade produtiva. As perdas por troca de ferramenta, manutenção preventiva e corretiva e quaisquer outras paradas de produção são descontados deste tempo.

A eficiência da máquina é dada pela relação percentual entre a produção real e a produção padrão, ou ainda, pelo tempo padrão de operação e seu tempo real de execução.

A qualidade é medida pela porcentagem de peças produzidas pela máquina que não apresentam defeitos, ou seja, as peças que cumpriram os requisitos de qualidade.

Sendo assim, o OEE é dado por:

$$\text{OEE} = \text{eficiência} \times \text{disponibilidade} \times \text{qualidade} \quad [\text{Eq.01}]$$

Observa-se, através da fórmula acima, que, quanto mais próximo de 1 (100%) for o índice OEE, mais eficiente será a linha.

A partir do cálculo de OEE, pode-se descobrir os gargalos da planta. A determinação do gargalo é definida de acordo com a capacidade bruta de produção de máquina, ou sua capacidade líquida se descontadas as perdas apresentadas. A capacidade bruta é definida como a capacidade que seria alcançada caso não existissem quaisquer tipos de perda durante todo o tempo de operação do equipamento.

4 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Conforme consta no dicionário *Larousse* (1999), método é a maneira ou o modo utilizado de se atingir determinado objetivo. Por meio da leitura deste artigo, é possível saber que existem vários métodos de pesquisa. O estudo de caso é uma das várias possibilidades de se fazer pesquisa. Dentre outras, podem ser citados: experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações e arquivos. Estudos de caso representam estratégias preferidas quando se colocam questões do tipo *como* e *por que*, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco encontra-se em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.

A estratégia a ser utilizada neste artigo é o estudo de caso.

O interesse pelo conhecimento abordado neste artigo deu-se pela necessidade dos pesquisadores identificarem as restrições operacionais que estavam impedindo o bom desempenho da organização pesquisada. Na linha de produção como um todo, havia gargalos cujos motivos não eram conhecidos. Decidiu-se, então, pela implantação do MES como sistema de controle de manufatura para tomada de decisões com o objetivo de eliminar perdas.

No entanto, existem algumas dificuldades para a implantação do MES como, por exemplo, o desconhecimento deste sistema por parte da liderança e da gerência, o que é justificável devido a seu aparecimento recente no mercado.

Partindo do pressuposto que a implantação do MES requer um investimento relativamente alto, antes do início do projeto, fez-se necessário convencer a gerência acerca do investimento o convencimento. Durante esta fase, a implementação do MES foi feita de forma manual, utilizando-se o Excel para cálculo do OEE. Inicialmente, foi desenvolvido um documento para ser utilizado pela empresa a fim de gerenciar a padronização dos cálculos de qualidade.

O objetivo do documento foi providenciar uma ferramenta de análise da planta e da operação em diferentes níveis de utilização de ativo, entendendo a causa central de emprego ineficiente, além de identificar melhores oportunidades. Este documento estabeleceu a padronização de KPI (*Key Performance Indicator*), indicativo que deve providenciar informações, para melhorar os recursos de produtividade, operação efetiva e rentabilidade do negócio pelo ganho visível sobre operações perdidas, fatores externos e práticas atuais de planta que reduz completamente o tempo de produção.

Definições Utilizadas:

- Através do documento, é possível mensurar o KPI para negócio e operação, tendo como referência o tempo de produção da planta: *Asset Effectiveness* (AE) *Asset Utilization* (AU), *Operation Efficiency* (OE) e *Overall Equipment Efficiency* (OEE).
- A decisão de parada de negócio inclui todos os dias não trabalhados (fins de semanas, férias, feriados), refeições, paradas legais e atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Modelo-padrão utilizado:

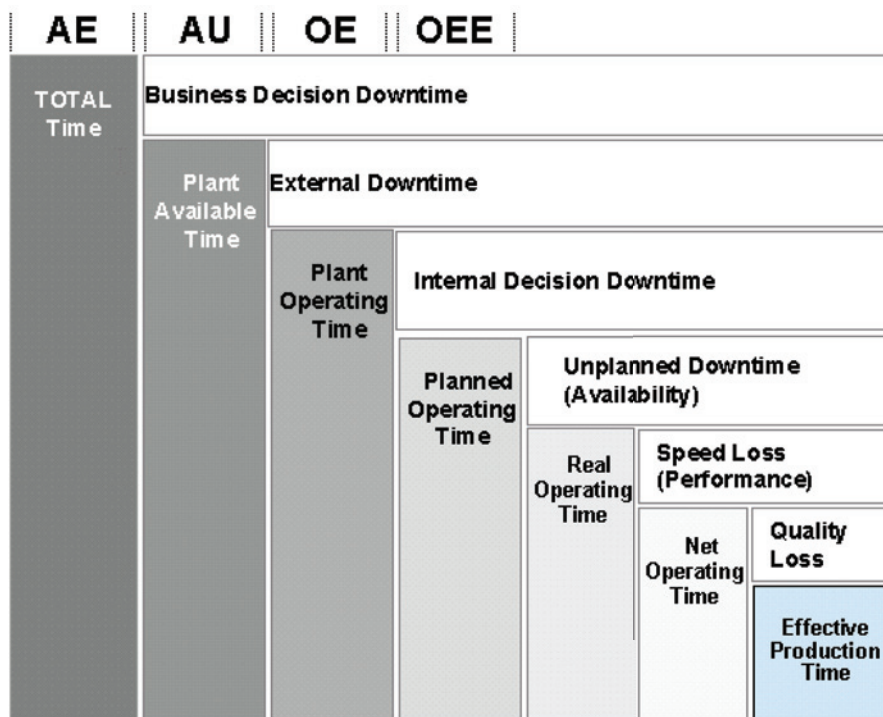


Figura 1 - Modelo Utilizado para Medição dos KPIs

Onde:

- *Asset Effectiveness* (AE): indica quão eficaz é uma planta, relacionando o tempo total a um determinado período (24 horas/dia). Este valor só é monitorado através de gráficos sobre longos períodos de tempo.

$$AE = \text{Tempo de Produção Efetivo} / \text{Tempo Total} \quad [\text{Eq.02}]$$

- Tempo de Produção Efetivo: é a quantidade de tempo que foi totalmente transformado em peças adequadas. Sem paradas e perdas, é considerado apenas o tempo de produção efetivo.
- Tempo Total: é a quantidade máxima de tempo disponível para a planta produzir em um determinado período de tempo.

- *Asset Utilization* (AU): indica o nível de utilização dos ativos da planta; está relacionado com a capacidade de produção. Os fatores externos, as decisões internas e as perdas não devem interferir na capacidade de produção da fábrica e todos eles são considerados no cálculo da AU.

$$AU = \text{Tempo de Produção Efetivo} / \text{Tempo de Planta Livre} \quad [\text{Eq.03}]$$

- Tempo de Planta Livre Total: esta é a quantidade de tempo que resta depois de subtrair as Decisões de Negócio *Downtime* do tempo total.
- *Operation Efficiency* (OE): a OE é calculada da mesma forma que o AU, mas, neste caso, não são considerados fatores externos. Ele indica a eficiência da planta considerando o seu tempo de funcionamento, que é considerado o tempo disponível no Master Production Schedule (MPS).

$$OE = \text{Tempo de Produção Efetivo} / \text{Tempo de Planta em Operação} \quad [\text{Eq.04}]$$

- Tempo de Planta em Operação: é o número de dias que são deixados na planta

de tempo disponível após a exclusão de fatores externos que não estão sob o controle da planta (*External Downtime*).

- *Overall Equipment Efficiency* (OEE): OEE é o KPI principal para a eficácia das operações. Ele está focado na identificação de perdas operacionais (disponibilidade, desempenho, qualidade) e mostra, em porcentagem, a eficácia de uma máquina ou de uma linha de comparação em relação ao resultado ideal de uma máquina ou uma linha.

$$OEE = \text{Tempo de Produção Efetivo} / \text{Tempo de Operação Planejada} \quad [\text{Eq.05}]$$

$$OEE = \text{Availability Rate} * \text{Performance Rate} * \text{Tempo de Operação Planejada} \quad [\text{Eq.06}]$$

- Tempo de Operação Planejada: este é o tempo total disponível para a produção no MPS, depois de excluir as decisões internas de *downtime*.

Perdas de Operação:

- Perda de Disponibilidade: parte do Tempo de Operação Planejado que não está sendo usado pela planta para produzir devido a paradas administrativas. (Não considerado em tempo de operação da planta, instalação e ajustes, falha de ferramentas, manutenção não planejada (corretiva), falha geral, falhas de equipamentos, falta de material e/ou operadores e falta de utilidades).

$$\text{Availability} = \text{Tempo de Operação Real} / \text{Tempo de Operação Planejado} \quad [\text{Eq.07}]$$

- *Speed Loss (Performance)*: Perdas de Velocidade são calculados em Tempo de Operação Real, que é a diferença entre o Tempo de Operação Planejado e a perda de disponibilidade, ou seja, Perda de Velocidade só é considerada quando a planta (máquina, materiais e recursos) estão disponíveis para produzir. Perdas de velocidade ocorrem frequentemente devido à obstrução do fluxo de produtos,

bloqueio de sensores, bloqueio de entrega, limpeza, verificação, inspeção, ineficiência do operador e perda de tempo do ciclo.

$$\text{Performance} = \frac{\text{Tempo Operação Rede}}{\text{Tempo de Operação Real}} \quad [\text{Eq.08}]$$

- *Quality Loss*: a exclusão da Perda de Velocidade do Tempo Real de Operação resulta em Tempo de Operação de Rede. Sucata, “retrabalho”, danos no processo e montagem incorreta podem causar. Tempo de Operação de Rede, reduzindo, assim, a quantidade de tempo disponível para produzir peças boas no final da linha de montagem.

$$\text{Quality} = \frac{\text{Tempo de produção Efetivo}}{\text{Tempo de Operação de Rede}} \quad [\text{Eq.09}]$$

De posse das diretrizes e padrões a serem seguidos, foi elaborada uma planilha em Excel com todos os 169 motivos de parada da linha de produção, como mostra a figura abaixo (figura 2):

Com esta tabela em mãos, foi dada ao operador a tarefa de apontar na planilha quando ocorriam falhas, o motivo da falha e por quanto tempo a máquina ficava parada. Sendo assim, através de entradas manuais, foi possível fazer uma estimativa da eficiência da planta, como mostra a planilha da (figura 3):

5 CONCLUSÃO

Após análise do exposto acima, podemos enumerar algumas razões para implementação do MES:

- gerenciamento automático de receitas (processos de manufatura);
- agendamento, incluindo prioridades;
- relatórios da produção;
- rastreabilidade do *Key Performance Indicator* (KPI);
- gerenciamento de evento ou exceção;
- rastreabilidade de materiais ou produtos;
- decisões inteligentes que influem no gerenciamento do custo e da produção;
- medição e gerenciamento do OEE;
- gerenciamento simples de recursos, incluindo inventário e pessoal.

	C	D	E
1	ID_DETALHEMOTIVO	DE_DETALHEMOTIVO	Célula
2	M1001	Falta bloco	MTG
3	M1002	Falta MP/Componente em processo	Todas UGBs
4	M1003	Falta pistão	MTG
5	M1004	Falta eixo	MTG
6	M1005	Falta rotor VCC	MTG
7	M1006	Falta placa montada	MTG
8	M1007	Falta placa válvula usinada	MTG
9	M1008	Falta tampa do cilindro	MTG
10	M1009	Falta óleo	MTG-MFC-CTR-Usinagem
11	M1010	Falta rotor	MTG
12	M1011	Falta estator	MTG
13	M1012	Falta tampa	MTG
14	M1013	Falta corpo estampado	Linhas de soldagem
15	M1014	Falta corpo	MTG
16	M1015	Falta biela	MTG
17	M1016	Falta fio de cobre	Estatores
18	M1017	Falta tubo descarga	MTG
19	M1018	Falta junta	MTG
20	M1019	Falta pacote - rotor	Rotores
21	M1020	Falta lâmina	Estatores

Figura 2 - Parte da Planilha de Motivos de Parada

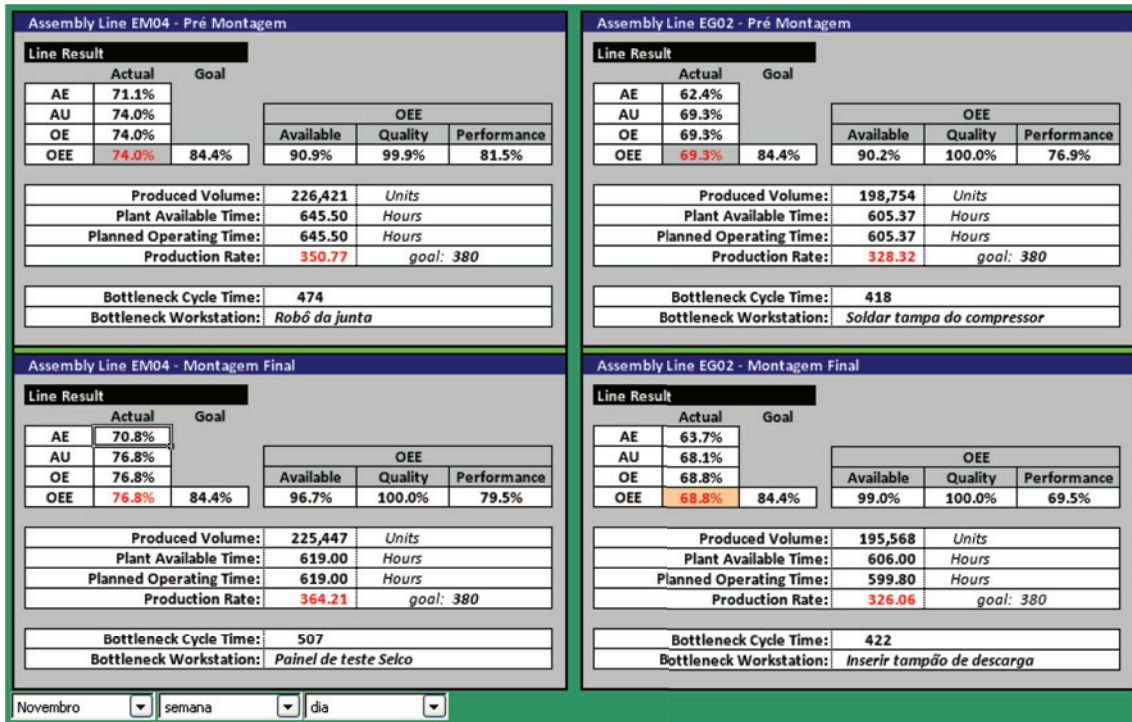


Figura 3 - Planilha com os KPIs

Pelas razões apontadas acima, a produtividade é aumentada sensivelmente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023*: informação e documentação, referências, elaboração. Rio de Janeiro: 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10520*: informação e documentação, citações em documentos, apresentação. Rio de Janeiro: 2002.

DICIONÁRIO LAUROSSÉ CULTURAL. São Paulo: Nova Cultural, 1999.

HANSEN, R. C. *Overall equipment effectiveness*. Nova Iorque: Industrial Press, 2002.

FONSECA, M. O; SEIXAS, C. FILHO. *ARC*. Fórum de Estratégias para a Manufatura Colaborativa - provocando a performance em um mundo plano: Intech Brasil, nº 89, p. 38-42, 2007.

MANUFACTURING ENTERPRISE SOLUTIONS ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.mesa.org>>.

PROFICITY PLANT APPLICATIONS. *Manuais de detalhamento v 4.4* – GE Fanuc (jan. 2009).

SEIXAS FILHO, C. A produção em foco. *Scantech News*, Rio de Janeiro, set. 99, p. 26-30.

Paulo Roberto Barbosa¹
Elaine Inacio Bueno²

Nas Ciências Econômicas ocorrem fenômenos temporais que dependem da observação de dados em um período específico. As técnicas disponíveis para analisar esses fenômenos recebem o nome de Análise de Séries Temporais e compreende um conjunto de técnicas cujo propósito é a obtenção de um modelo com um número adequado de parâmetros estimados de forma a permitir o ajuste do modelo à série temporal. A obtenção de um modelo adequado é de extrema importância para que se possam conhecer algumas características da série temporal que serão úteis na previsão de seu valor futuro. As técnicas de Inteligência Artificial vêm sendo utilizadas na obtenção destes modelos, destacando-se dentre elas: Redes Neurais Artificiais, Lógica Nebulosa e Algoritmos Genéticos. Neste trabalho, será apresentada uma metodologia para a previsão de valores futuros do Índice Nacional de Custo da Construção através de Redes Neurais Artificiais com atraso no tempo. A base de dados utilizada neste trabalho é composta pelos índices percentuais do INCC. Para comparar os resultados obtidos na previsão, foi considerado o Erro Médio Quadrático obtido em cada um dos testes realizados. Os resultados preliminares obtidos demonstram que a presente metodologia conseguiu fornecer previsões futuras adequadas para a maioria dos casos simulados.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. Índice Nacional de Custo da Construção. Rede neural com atraso de tempo focada.

Temporal phenomena are a recurrent process in economic sciences. The available techniques to analyze these phenomena, the so called time series analysis, are composed of collection of methods designed to produce a model with an accurate number of parameters to fit the time series. The design of an accurate model is extremely important in order to access time series relevant characteristics which can be used for future behavior forecasting. The artificial intelligence techniques have been used to obtain these models, mainly, artificial neural networks, Fuzzy logic and Genetic algorithms. This work presents a method to predict the Brazilian index for Civil Construction, INCC, using focused time-delay neural networks. The Mean Square Error was used in order to compare the results for each test. Preliminaries results show satisfactory forecast in most of simulated cases.

Keywords: Neural Networks. Civil Construction. Focused time-delay.

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos temporais são essenciais no cotidiano dos seres humanos. O tempo é um parâmetro encontrado em várias tarefas, como

reconhecimento de padrões, reconhecimento de voz, detecção de movimentos, verificação de assinaturas, visão, processamento de sinais, controle motor, dentre outras. A computação convencional ainda não

1 Doutor em Engenharia Mecânica pela USP - Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. E-mail: <barbosapr@gmail.com>.

2 Doutora em Tecnologia Nuclear pela USP - Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Guarulhos. E-mail: <elainebueno@usp.br>.

consegue lidar satisfatoriamente com muitas dessas tarefas de mapeamento dinâmico, pois existe a necessidade de estruturas suficientemente ricas para representar o tempo.

Existem diversas técnicas para realizar a previsão de séries temporais (CONNOR et. al., 1994), (CHOLEWO & ZURADA, 1997), porém todas possuem um erro de previsão. O grande desafio é minimizar esse erro de previsão através de um modelo que melhor se ajuste à base de dados, utilizando para isto um número adequado de parâmetros. A obtenção deste modelo não é uma tarefa simples e muitas vezes os resultados obtidos podem conduzir a uma previsão pouco eficiente. Os métodos convencionais de previsão fornecem bons resultados quando o problema estudado apresenta comportamento linear, porém, quando há um grau elevado de não linearidade, estes métodos passam a ser pouco eficientes (CORTEZ, 2002).

Os métodos convencionais mais difundidos são os modelos *Auto-Regressivos* (AR), modelos de Médias Móveis (MA) e os modelos *Auto-Regressivos* de Médias Móveis (ARMA). A metodologia Box & Jenkins (1970) é a mais eficiente e utilizada para a previsão de séries temporais, porém sua aplicação envolve uma teoria de alta complexidade e a escolha do melhor modelo para a previsão não é uma tarefa muito simples. (CHAVES, 1991)

Neste sentido, as técnicas de Inteligência Artificial, em especial as Redes Neurais Artificiais (RNAs), vêm sendo aplicadas na análise de séries temporais. A utilização de RNAs é interessante, pois para solucionar um determinado problema a rede passa inicialmente por uma fase de *aprendizagem*, em que um conjunto de exemplos é apresentado para a RNA, que extrai automaticamente desses exemplos as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas a problemas com características similares às dos exemplos.

Uma dificuldade encontrada para a previsão de séries temporais é que a grande maioria dos algoritmos de treinamento das

RNAs não são capazes de implementar o mapeamento dinâmico, como, por exemplo, o algoritmo de retropropagação, que consegue aprender apenas mapeamentos estáticos. Para que as redes MLP (Camadas Múltiplas) realizem o processamento temporal, são usadas janelas de tempo, em que a entrada da rede utiliza trechos dos dados temporais como se eles formassem um padrão estático. Uma arquitetura que consegue lidar com variações temporais são as RNAs com atraso de tempo focada – FTDNN (*Focused Time Delay Neural Network*) –, que consiste em uma rede de propagação para frente com atraso de tempo apenas na camada de entrada. (THE MATHWORKS, 2010)

O objetivo deste trabalho é realizar a previsão do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) usando Redes Neurais com atraso de tempo focadas. Para tanto, foi utilizada uma base de dados contendo os índices percentuais mensais do INCC no treinamento das RNAs. A previsão do índice é feita através da utilização de valores anteriores para prever o índice percentual do próximo mês.

2 ÍNDICE NACIONAL DE CUSTO DA CONSTRUÇÃO (INCC)

O INCC foi elaborado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e tem como propósito aferir a evolução dos custos de construções habitacionais. Este índice é baseado em uma estatística contínua, de periodicidade mensal para os seguintes municípios: Aracaju, Belém, Belo Horizonte, Brasília, Campo Grande, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Goiânia, João Pessoa, Maceió, Manaus, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo e Vitória. Este índice é levantado pela FGV desde janeiro de 1944 (PORTAL DO BRASIL, 2010).

Os índices de custos da construção estão subdivididos em residenciais e obras públicas de engenharia civil ou infraestrutura. Os principais índices para construções residenciais são: Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), Índice de Custo da

Construção do Rio de Janeiro (ICC-RJ) e Índice de Edificações.

O INCC é um dos três itens que compõem o Índice Geral de Preços (IGP), representando 10% deste. Este índice começou a ser divulgado em fevereiro de 1985, como resultado da ligação do ICC-RJ com a série do Índice de Edificações. O INCC é calculado entre o primeiro e o último dia do mês civil.

A Tabela 1 apresenta os valores do INCC de junho/1989 até o presente momento.

A Figura 1 ilustra a arquitetura da rede utilizada neste trabalho.

O vetor de entrada é composto por 120 elementos, o que corresponde à informação de 10 anos. A arquitetura é composta por 5 neurônios com função de ativação sigmoideal na camada intermediária e 1 neurônio com função de ativação linear na camada de saída. Foram definidos, ainda, 8 atrasos, de maneira que a arquitetura pode ser entendida como possuindo 9 elementos na camada de entrada e 1 na saída, conforme mostra a figura 1.

Tabela 1 - Índices Percentuais do INCC (PORTAL DO BRASIL, 2010)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1989	-	-	-	-	-	23,59	30,79	45,87	38,04	38,59	42,35	44,84
1990	51,70	70,20	72,48	38,20	1,10	4,43	11,21	13,94	12,39	11,52	12,14	14,15
1991	15,67	17,54	12,34	8,51	7,25	13,36	11,74	14,15	13,53	23,07	21,10	29,72
1992	18,25	28,24	23,47	26,74	17,74	27,55	18,78	23,19	19,51	31,33	21,01	27,75
1993	19,13	34,43	23,72	32,46	27,43	36,11	27,70	33,37	31,19	36,63	36,07	38,16
1994	33,62	40,68	43,41	50,70	45,18	45,51	42,85	3,95	0,31	0,88	1,42	2,44
1995	1,37	3,54	2,41	2,74	2,43	9,38	2,71	0,93	4,68	0,72	0,76	1,07
1996	0,67	1,35	0,19	0,89	0,55	2,01	1,52	0,74	0,15	0,23	0,28	0,48
1997	0,68	0,31	0,42	0,73	0,30	0,99	0,94	0,55	1,18	0,22	0,22	0,52
1998	0,29	0,48	0,31	-0,46	0,47	0,86	0,42	0,29	0,09	0,05	-0,07	-0,01
1999	0,21	0,62	0,91	0,58	0,38	0,88	0,41	0,52	0,83	0,79	1,22	0,81
2000	1,15	0,89	0,82	0,69	0,57	1,09	0,83	0,35	0,30	0,28	0,29	0,49
2001	0,40	0,55	0,34	0,28	2,00	0,69	1,07	0,56	0,59	0,92	0,60	0,70
2002	0,40	0,31	0,84	0,32	2,47	0,21	0,63	0,82	0,68	0,82	2,19	2,13
2003	1,45	1,60	1,38	0,81	2,98	0,74	0,59	2,20	0,24	0,47	0,42	0,99
2004	0,28	0,48	1,59	0,60	1,74	0,56	1,12	0,90	0,67	0,95	0,94	0,61
2005	0,70	0,42	0,71	0,38	0,54	2,20	0,65	0,05	0,06	0,28	0,29	0,38
2006	0,24	0,28	0,23	0,21	0,81	1,45	0,57	0,35	0,09	0,18	0,23	0,30
2007	0,45	0,26	0,17	0,43	0,55	1,67	0,21	0,35	0,39	0,49	0,48	0,43
2008	0,41	0,43	0,59	0,82	1,10	2,67	1,42	1,27	0,95	0,85	0,65	0,22
2009	0,26	0,35	-0,17	-0,01	0,25	1,53	0,37	0,01	0,07	0,13	0,18	0,20
2010	0,52	0,35	0,45	1,17	0,93	1,77	0,62	-	-	-	-	-

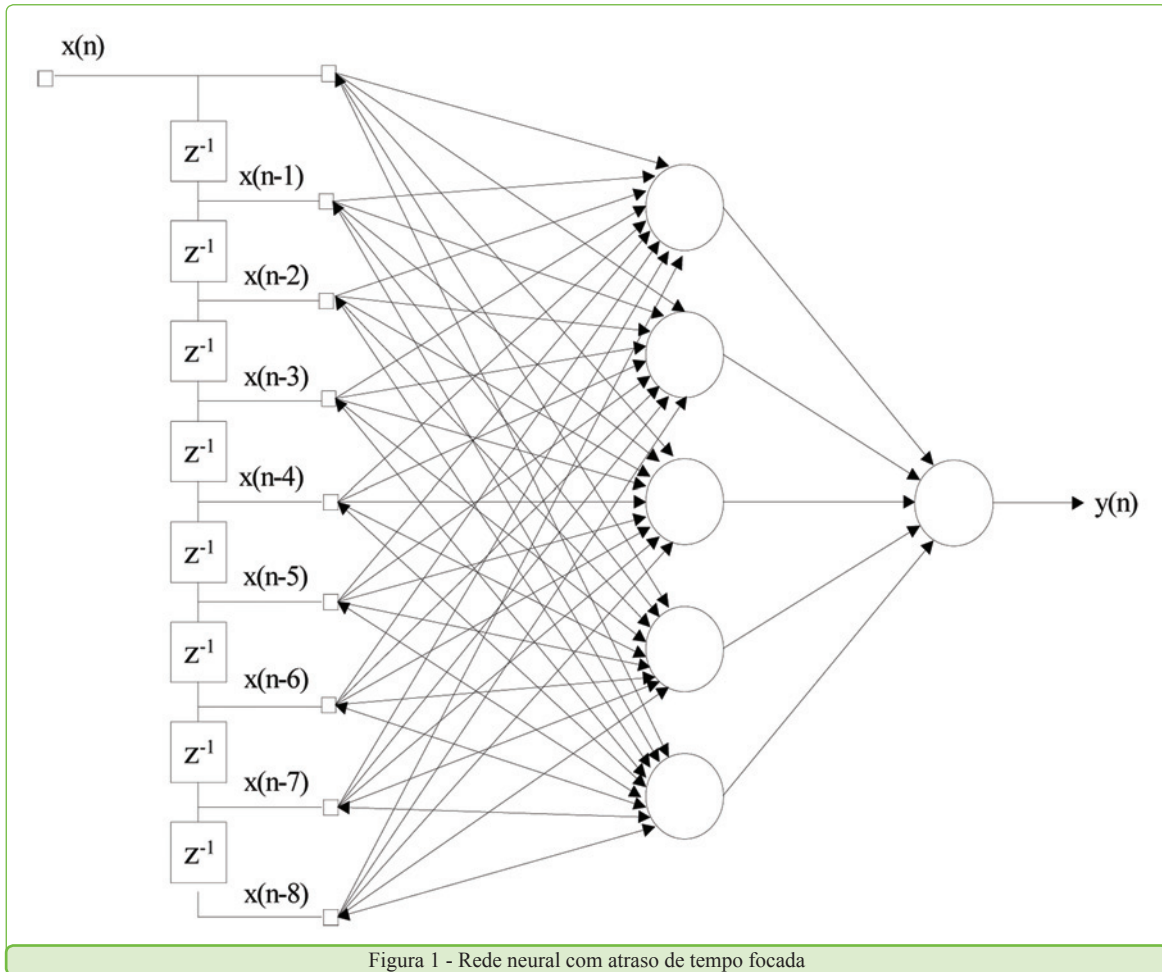
3 METODOLOGIA

Tendo em vista que o problema considerado sugere a utilização de valores anteriores para previsão do índice, foi utilizada neste trabalho uma rede neural com atraso de tempo. Trata-se mais especificamente de uma rede dinâmica com atrasos localizados exclusivamente na camada de entrada, conhecida pela sigla FTDNN, do inglês *focused time-delay neural network*.

Neste contexto, de forma análoga ao perceptron multicamadas (HAYKIN, 2001), a saída $y(n)$ é dada pela equação (1):

$$y(n) = \sum_{j=1}^5 w_j \varphi \left(\sum_{l=0}^8 w_j(l)x(n-l) + b_j \right) + b_0 \quad (1)$$

Onde w representa os pesos sinápticos e b os bias, omitidos da figura por conveniência de representação.



O treinamento segue o método popular de retropropagação do erro, baseado no algoritmo de Levenberg-Marquardt (HAGAN et al. 1996).

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para a implementação da metodologia de previsão do INCC usando RNAs, foi utilizada uma base de dados no treinamento das RNAs contendo os índices de julho/1995 até dezembro/2004.

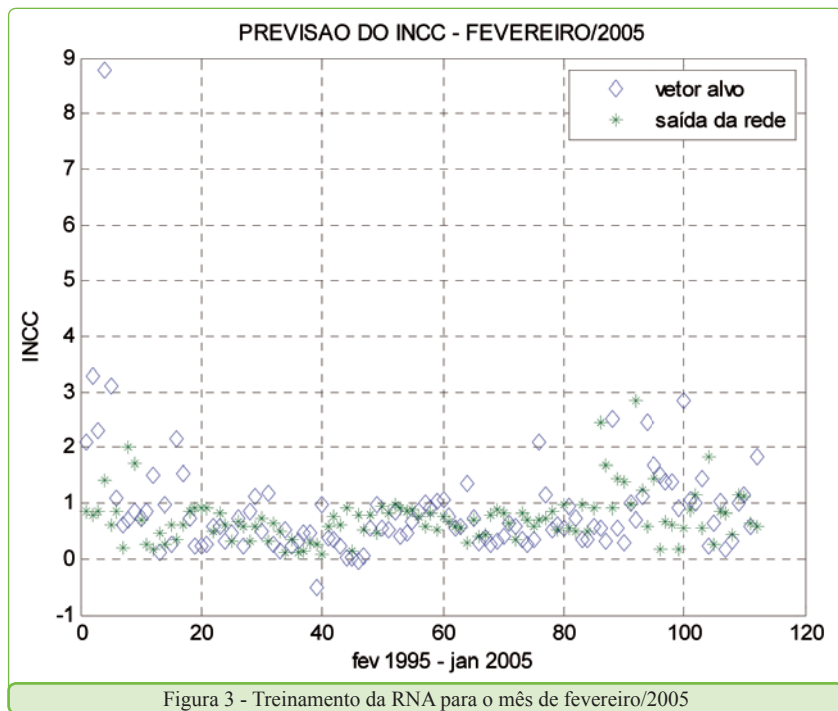
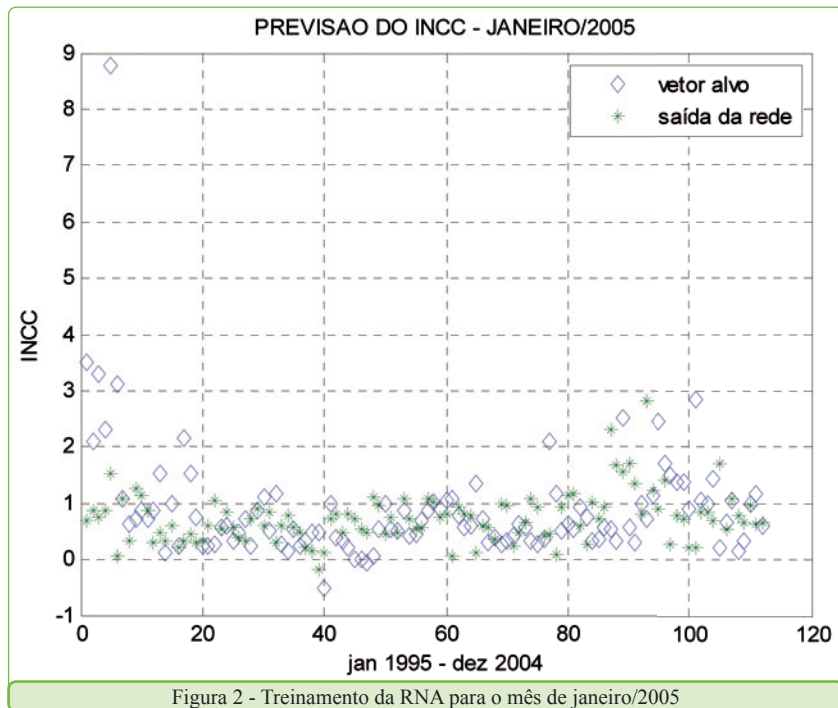
Neste trabalho, será realizada a previsão do INCC para o ano de 2005. A previsão consiste em treinar as RNAs utilizando o índice do mês anterior para prever o índice do mês seguinte, sendo necessário realizar o treinamento das RNAs mensalmente.

A arquitetura escolhida para o treinamento das RNAs foi a FTDNN, discutida anteriormente. Foram estabelecidos

dois parâmetros para interromper o treinamento das Redes Neurais. O primeiro parâmetro foi o MSE (Erro Médio Quadrático), cujo valor estabelecido foi de 10^{-2} , e o segundo parâmetro foi o número máximo de épocas, cujo valor foi 2500. Na maioria dos casos o treinamento atingiu o número máximo de épocas. Os resultados obtidos são apresentados na próxima seção.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Foram treinadas RNAs para a previsão do INCC para os meses de *janeiro a dezembro* de 2005. Uma amostra destes treinamentos pode ser observada nas Figuras 2, 3, 4 e 5, que apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na previsão do INCC para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril/2005.



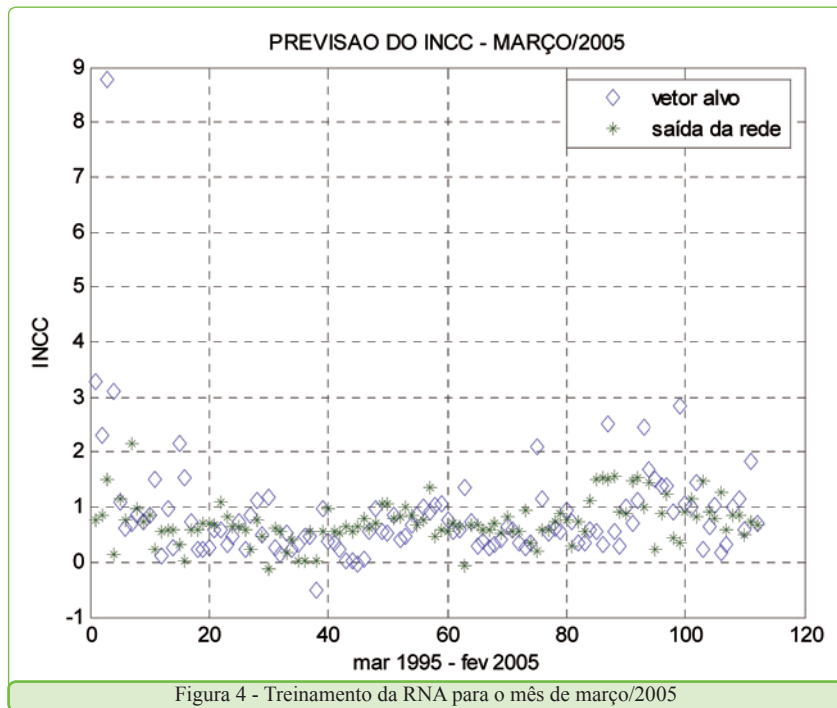


Figura 4 - Treinamento da RNA para o mês de março/2005

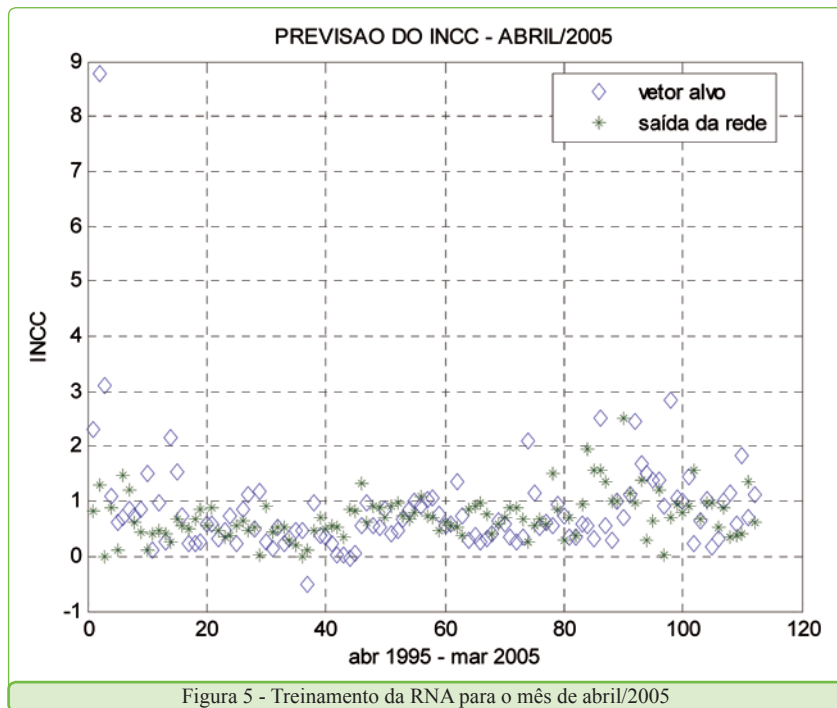


Figura 5 - Treinamento da RNA para o mês de abril/2005

Através da análise das Figuras 2, 3, 4 e 5, verifica-se que as RNAs treinadas conseguiram acompanhar o comportamento temporal dos índices. Na Tabela 2 serão apresentados os demais valores de índices previstos pelas RNAs para o ano de 2005.

Tabela 2 - Previsão do INCC para o ano de 2005

Ano - 2005	Previsão	Alvo	RMSE
Janeiro	0,669	0,75	0,3145
Fevereiro	0,5942	0,44	0,3157
Março	0,6693	0,67	0,3845
Abril	0,6242	0,72	0,3072
Maió	0,8855	2,09	0,3294
Junho	0,7651	0,76	0,3307
Julho	0,8243	0,11	0,3204
Agosto	0,2542	0,02	0,3414
Setembro	0,201	0,24	0,3156
Outubro	0,24	0,19	0,322
Novembro	0,264	0,28	0,315
Dezembro	0,4254	0,37	0,3122

Através da análise da Tabela 2, verifica-se que as RNAs conseguiram prever o INCC de forma satisfatória para a maioria dos casos simulados, com exceção dos meses de maio, julho e agosto/2005.

6 CONCLUSÃO

Um modelo neural para previsão dos valores do INCC foi apresentado neste trabalho. O modelo foi testado para previsão do índice referente aos meses de janeiro a dezembro de 2005. Os resultados preliminares mostraram uma previsão satisfatória para a maioria dos casos analisados. Os meses de maio, julho e agosto foram os únicos em que os índices apresentaram uma diferença significativa com relação ao vetor alvo. Essas situações específicas ocorreram muito provavelmente devido à diferença no padrão dos dados e sugerem a utilização de uma base de dados mais ampla, de forma a fornecer para o modelo um maior número de informações com relação à variação anual.

O comportamento do modelo neural para os casos analisados demonstram que a metodologia adotada é adequada para o tipo de previsão considerada, sugerindo a continuidade nos estudos para o aperfeiçoamento deste modelo.

REFERÊNCIAS

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time series analysis: forecasting and control*. São Francisco, EUA: Holden-Day, 1970.

CHAVES, A. N. *Bootstrap em séries temporais*. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.

CHOLEWO, T. J.; ZURADA, J. M. Sequential network construction for time series prediction. In *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, p. 2034-2039, Houston, Texas, EUA, 1997.

CORTEZ, P. A. R. *Modelos inspirados na natureza para a previsão de séries temporais*. Tese (Doutorado em Informática) – Departamento de Informática. Universidade do Minho, 2002.

CONNOR, J. T. et. al. Recurrent neural networks and robust time series prediction. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 5, n. 2, 1994.

HAGAN, M. T.; DEMUTH, H. B.; BEALE, M. *Neural network design*. EUA: PWS, 1996.

HAYKIN, S. *Neural Networks: a comprehensive foundation*. EUA: Prentice Hall, 2001.

PORTAL DO BRASIL. *Índice nacional de custo da construção do mercado INCC-M*. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/incc.htm>>. Acesso em: 23/08/2010.

THE MATHWORKS INC. *Neural network toolbox*. Version 2010. EUA, 2010.

CONFIGURADOR DE REDES BASEADO NA REPRESENTAÇÃO NÓ PROFUNDIDADE PARA EFEITO DE ESTIMAÇÃO DE ESTADOS: SIMULAÇÃO COM SISTEMAS DE 6 E 14 BARRAS DO IEEE

Saulo Augusto Ribeiro Piereti¹
João Bosco Augusto London Jr.²
Alexandre Cláudio Botazzo Delbem³
Newton Geraldo Bretas⁴

Propõem-se, neste artigo, simulações com configurador de redes tracking (CRT) para efeito de estimação de estado proposto em Piereti et al, (2008). Nas simulações serão utilizados os sistemas de 6 e 14 barras do IEEE, os quais são sistemas de maior porte. O CRT, proposto em Piereti et al (2008), utiliza uma nova forma de representar árvores de grafo (grafos conexos e acíclicos) em computador, denominada Representação Nó-Profundidade (RNP). Tal representação permite um acesso direto para cada nó de um grafo e pode representar eficientemente árvores e florestas (um grafo com uma ou mais árvores). Além disso, esse CRT possibilita uma rápida atualização da topologia da rede, no modelo barra-ramo, bem como uma atribuição de medidas aos componentes da rede de forma direta e rápida. Através deste CRT, as etapas configuração de subestações e configuração de redes são realizadas ao mesmo tempo, diminuindo o tempo de processamento necessário para a obtenção do modelo barra-ramo. Para isso, o CRT representa cada seção de barramento, envolvendo uma barra da rede, como nó de um grafo, e faz uso da RNP e de outras duas estruturas de dados. Os resultados de vários testes com sistemas de 6 e 14 barras do IEEE comprovam a eficiência do CRT, o que torna esse CRT confiável e adequado para operação em tempo real, com sistemas de maior porte.

Palavras chaves: *Sistemas Elétricos de Potência. Estimação de Estado. Configurador de Redes. Representação Nó-Profundidade.*

This paper suggests simulations using the Network Topology Processor (NTP) for effective state estimation proposed in Piereti et al (2008). In the simulations, a 6 and 14 IEEE system will be used. NTP uses a new tree encoding called Node-depth Representation (NDR), which enables a straightforward access to each one of the tree nodes. The NDR can also adequately represent a graph forest, and efficiently perform forest modifications. Using the NDR structure, the NTP can track over time the changes of the network connectivity and perform the assignment of metering devices in a very direct and fast way. Representing bus-sections as nodes of a graph, the NTP processes simultaneously both substation and network configuration. Examples are presented to show how the NTP works. The results of several tests using the 6 and 14 bus systems have shown the proposed NTP is reliable, computationally efficient and suitable for real-time operation with large networks.

Keywords: *Power System. Network Topology Processor. State Estimation. Node-Depth Representation.*

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo *Campus* Bragança Paulista - Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. E-mail: <s_piereti@hotmail.com>, <saulopiereti@usp.br>.

2 Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, LACO - Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo. E-mail: <jbalj@sc.usp.br>.

3 Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Departamento de Sistemas de Computação - Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. E-mail: <acbd@icmc.usp.br>.

4 Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, LACO - Doutor em Engenharia Elétrica pela University of Missouri - Columbia - USA. E-mail: <ngbretas@sc.usp.br>.

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas fundamentais, para modelagem em tempo real dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP), são o configurador de redes (CR) e o Estimador de Estado (EE).

A função do CR é determinar, em tempo real, a topologia atual da rede e a correspondente configuração de medidores, no modelo barra-ramo (BR) (MONTICELLI, 1999). O EE, por sua vez, permite determinar as variáveis de estado do SEP, assumindo que o modelo BR e a configuração dos medidores foram corretamente determinados pelo CR.

Em razão de os CRs exigirem algoritmos de busca em grafo, o desempenho destes torna-se fortemente afetado pela forma com que as árvores de grafo são computacionalmente representadas.

Dentre as diversas estruturas de dados propostas na literatura, para representar computacionalmente árvores de grafo, destaca-se a denominada Representação Nó-Profundidade (RNP) (DELBEM et al, 2004). Abordagens baseadas na RNP, para problemas que requerem a manipulação de grafos (redes), têm apresentado melhor desempenho computacional em relação àquelas que utilizam outras estruturas de dados (DELBEM et al, 2004).

A RNP permite um acesso direto para cada nó de um grafo e pode representar eficientemente árvores e florestas (DIESTEL, 2005). Conseqüentemente, tal representação é útil para análise e atualização da topologia de redes.

Em Piereti et al (2008) foi desenvolvido um CRT baseado na RNP, que possibilitava uma rápida atualização da topologia da rede, no modelo BR, bem como uma atribuição de medidas aos componentes da rede de forma direta e rápida. A conclusão dos autores é que o CRT era confiável, rápido e adequado para operação em tempo real, no entanto por motivo de espaço foram apresentadas

apenas simulações com sistema de pequeno porte contendo apenas 3 barras.

Face ao exposto, propõem-se, neste artigo, simulações com CRT propostas em Piereti et al, (2008), utilizando os sistemas de 6 e 14 barras do IEEE, assim pretende-se comprovar a eficiência deste CRT também para sistemas de maior porte.

A teoria básica para o entendimento do CRT proposto (PIERETI et al, 2008) é descrita nesse artigo, assim como o próprio CRT. A organização do artigo completo é a seguinte: na seção 2 apresentam-se as terminologias da área, utilizadas neste artigo. Uma sucinta descrição do processo de configuração de rede tradicional é apresentada na seção 3. Na seção 4 encontra-se a estrutura de dados RNP. O CRT proposto (PIERETI et al, 2008) é apresentado na seção 5. As simulações, com sistema de 6 e 14 barras do IEEE, são apresentadas na seção 6. As conclusões se acham na seção 7.

2 TERMINOLOGIAS

Para compreender o processo de obtenção da topologia da rede, no modelo BR, faz-se necessário a apresentação de algumas terminologias da área.

Seção de barramento (SB) é um elemento da rede que pode ser isolado por um ou mais dispositivos seccionadores (DSs). Observe que SB não é um dispositivo *shunt*, como, por exemplo, cargas, unidades geradoras, etc. A palavra *barra da rede*, do modelo BR, corresponde a uma SB ou um grupo de SBs conectadas por DSs fechados.

Neste artigo, o termo *barra física* refere-se à barra de operação ou de manutenção. Além disso, definimos dois tipos de seção de barramento (Figura 1):

Seção de barramento do tipo-1 (SBT1): uma seção de barramento que contém uma barra física;

Seção de barramento do tipo-2 (SBT2): uma seção de barramento que não contém barra física.

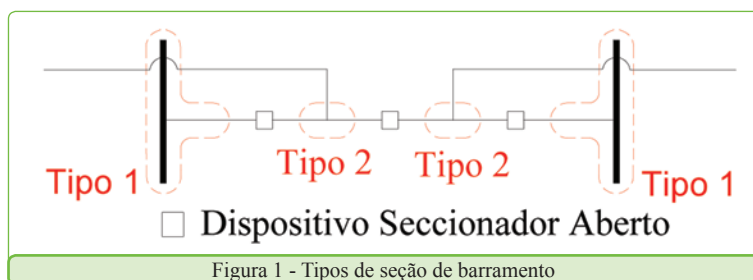


Figura 1 - Tipos de seção de barramento

2.1 Processamento de seções de barramentos

As barras da rede do modelo BR são formadas através das SBs, da seguinte forma:

(i) Uma SBT1 constitui uma barra da rede, se ela não for conectada a nenhuma outra seção de barramento (BST1 ou BST2), através de DSs fechados;

(ii) Conexões através de DSs fechados entre uma BST1 e uma (ou mais) BST2 constituem uma única barra da rede;

(iii) Conexões entre duas ou mais BST1s, envolvendo ou não BST2s, através de DSs fechados, constituem uma única barra da rede.

3 CONFIGURADOR DE REDES TRADICIONAL

O CR tradicional baseia-se em algoritmos de busca em grafo e desenvolve-se normalmente em três fases. Na primeira fase, conhecida como Configuração de Subestação, as seções de barramento de cada subestação são processadas, para determinar se estão conectadas por DSs fechados. Desta forma, todas as seções de barramento, conectadas por DSs fechados, irão compor uma barra da rede no modelo BR. A segunda fase do processo recebe o nome de Configuração de Rede, na qual se identificam possíveis ilhamentos do SEP. Nesta fase, processam-se as barras da rede, determinadas na fase anterior, para verificar se essas barras estão conectadas, através de DSs fechados, a equipamentos série (linhas de transmissão e transformadores). Essas conexões serão representadas

como ramos da rede, no modelo BR. A terceira fase do processo é a Tabulação de Resultados, que consiste da tabulação de todos os equipamentos conectados às barras da rede, no modelo BR.

Quando o CR é utilizado para fins de estimação de estado, além da topologia da rede, o CR deve associar as medidas realizadas nas subestações aos devidos componentes no modelo BR.

Em um CR tradicional, o procedimento utilizado para realizar essa última tarefa baseia-se em um conjunto de regras e pode tornar-se difícil de ser realizado, dependendo do arranjo do medidor (MONTICELLI, 1999).

Para obter a topologia inicial de um SEP, o CR faz uso de um banco de dados estático, que descreve a conexão dos equipamentos da rede (geradores, transformadores, linhas de transmissão, cargas, etc), com as correspondentes seções de barramento e DSs. Em seguida, processa os estados de todos os DSs disponíveis.

Depois dessa “inicialização”, o CR será executado novamente somente na ocorrência de mudanças de estados de DSs que acarretam alterações na topologia inicial do SEP.

Os primeiros CR possuíam limitações de desempenho, pois não possibilitavam uma atualização eficiente da topologia, isto é, mesmo na ocorrência de uma alteração pequena no modelo BR, todo o processo de configuração de redes era executado novamente.

Para superar tal limitação, foram desenvolvidos os chamados Configuradores “Tracking” que,

armazenando a configuração proveniente da última execução, possibilitam uma rápida atualização da topologia da rede, na ocorrência de pequenas alterações (PRAIS & BOSE, 1988; YEHSAKUL & DABBAGHCHI, 1995).

4 REPRESENTAÇÃO NÓ-PROFUNDIDADE

A RNP baseia-se nos conceitos de caminho e profundidade de nó em um grafo (árvore) e consiste basicamente de uma lista contendo os nós da árvore e suas respectivas profundidades, formando pares do tipo $(nx; px)$, em que nx é o nó da árvore e px a profundidade do nó. A ordem em que os pares são dispostos na lista é importante. A representação de uma árvore é obtida a partir de uma busca em profundidade (a árvore geradora¹ do grafo apresentado na Figura 2(a) está armazenada na RNP apresentada na Figura 2(b), assumindo o nó 1 como raiz).

para o CRT proposto em Piereti et al (2008).

5 CONFIGURADOR DE REDES TRACKING

O CRT proposto em Piereti et al. (2008) utiliza a RNP e duas estruturas de dados adicionais: (i) Estrutura de Aretas Reservas (AR) e (ii) Representação Barra-Subestação (RBS). A estrutura AR armazena as arestas que podem formar ciclos (DIESTEL, 2005), se forem armazenadas na RNP. A estrutura AR é necessária, pois a RNP não representa ciclos. Para armazenar uma aresta na estrutura AR aloca-se um espaço de memória com três posições; as duas primeiras armazenam os nós da aresta e a terceira posição indica se a aresta deve ou não ser utilizada na saída do configurador de redes, com indicativos ("1") ou ("0") respectivamente. A estrutura

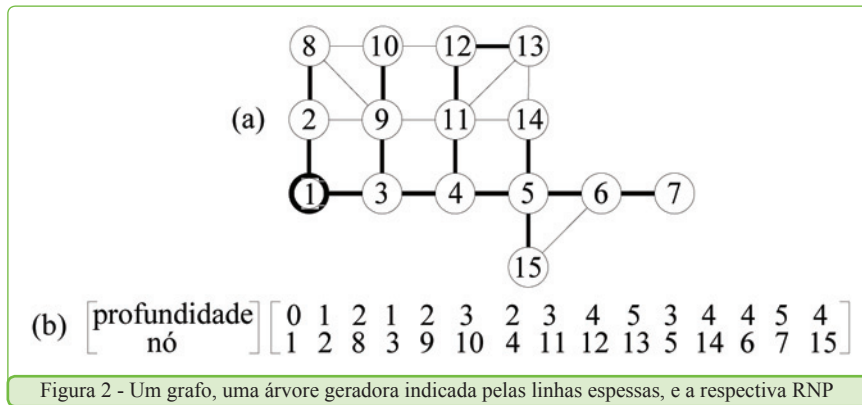


Figura 2 - Um grafo, uma árvore geradora indicada pelas linhas espessas, e a respectiva RNP

Para representar uma floresta possuindo "nA" árvores, teremos um conjunto de "nA" RNPs.

Para facilitar a manipulação da floresta armazenada em RNPs, com baixo tempo de processamento computacional, criaram-se dois operadores. Tais operadores realizam poda ou enxerto nas árvores da floresta, de forma a gerar modificações na floresta (DELBEM et al., 2004). A seção 6 apresenta os operadores desenvolvidos

RBS estabelece a correspondência entre as seções de barramento BST1s e as barras da rede no modelo BR. Através da RBS é possível determinar a conectividade de cada subestação de uma forma bastante direta. Esta estrutura é implementada através de uma matriz de tamanho $(n \times 2)$ para cada subestação, em que n é o número máximo de SBT1 de cada subestação. A posição i da primeira linha da matriz RBS armazena o número de cada SBT1, já a posição i da segunda linha desta matriz corresponde ao número que a SBT1 i

¹ Árvore geradora de um grafo é aquela que possui todos os nós do grafo.

receberá no modelo BR, ou seja, a barra da rede que a SBT1 vai representar no modelo BR.

Com objetivo de reduzir o tempo de processamento, o CRT proposto (PIERETI et al, 2008) realiza as etapas de configuração de subestação e de rede ao mesmo tempo, tratando as SBT1s como nós de grafo na RNP.

Quando duas SBT1s estão conectadas por DSs fechados, estas seções de barramento se unem, compondo uma barra da rede, que é representada na RBS. Neste ponto, tanto a RNP quanto a RBS continuam usando dois nós para representar aquelas seções de barramento. Por outro lado, quando uma linha de transmissão (ou transformador) é conectada entre duas SBT1s por DS fechados, envolvendo ou não BST2s, o correspondente ramo elétrico é uma aresta entre os nós da RNP. Neste caso, cada uma das SBT1 vai gerar uma barra da rede no modelo BR.

5.1 Associação de medidores

Em um CR convencional, o mecanismo utilizado para associar os medidores aos componentes da rede no modelo BR pode ser considerado como um processo de redução de rede. Isto é, redução da matriz jacobiana (matriz H) do EE por mínimos quadrados ponderados (EMQP), através do processo de eliminação de Gauss. Em outras palavras, realiza-se uma transformação da matriz H, que representa o modelo da rede em termos de seções de barramento, em uma matriz H representando o modelo BR da rede (MONTICELLI, 1999).

A redução da rede realiza-se tomando por base algumas regras que, dependendo do arranjo do medidor, pode torna-se uma tarefa difícil de ser realizada. O CRT proposto possibilita a realização dessa tarefa de uma forma mais simples.

Para mostrar como o CRT proposto realiza a associação dos medidores aos componentes de uma rede, no modelo BR, serão considerados os dois arranjos de

medidores ilustrados na Figura 3, que foram apresentados em (MONTICELLI, 1999)².

Em ambos os arranjos apresentados na Figura 3, os medidores de potência ativa e reativa são atribuídos à linha de transmissão LT, isto é, para o modelo BR aqueles medidores são representados por medidas de fluxo no ramo que vai representar aquela LT. A mesma associação aconteceria se tivéssemos um transformador, ao invés de uma LT (as medidas seriam representadas como medidas de fluxo no ramo, representando o transformador). Entretanto, quando, ao invés de uma LT (ou transformador), tivermos um componente *shunt* ligado àquelas SBT1s, para o modelo BR aqueles medidores seriam representados por medidas de injeção de potência, na barra constituída a partir da união daquelas SBT1s.

Para possibilitar a associação dos medidores de potência aos devidos componentes da rede no modelo BR, através da análise das estruturas RNP, AR e RBS, o CRT proposto cria barras fictícias (BFs), para representar os componentes *shunt* da rede. A função das BFs é indicar os medidores que devem ser representados através de medidas de injeção de potência. Ou seja, analisando as estruturas supracitadas, quando for encontrado algum medidor de potência incidente a um ramo que conecta uma SBT1 com uma BF, no modelo BR aquele medidor será representado através de uma medida de injeção de potência na barra correspondente àquela SBT1. Por outro lado, se o medidor de potência for incidente a um ramo que conecta duas SBT1s, tal medidor será representado por uma medida de fluxo naquele ramo. As BF são armazenadas normalmente nas estruturas RNP e RBS, no entanto, na segunda linha da estrutura RBS, a BF é indicada como zero, pois essa não será representada com uma barra da rede no modelo BR.

² O CRT proposto pode ser adaptado para trabalhar com outros arranjos de medidores.

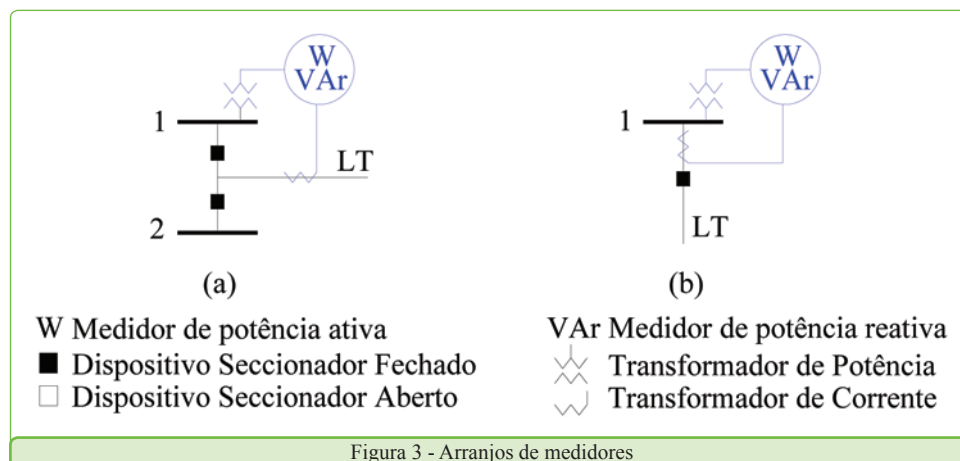


Figura 3 - Arranjos de medidores

6 SIMULAÇÃO COM SISTEMA DE 6 E 14 BARRAS DO IEEE

As Figuras 4 e 9 ilustram, respectivamente, os sistemas de 6 e 14 barras do IEEE, em nível de seção de barramento associados a dispositivos seccionadores e medidores. Esses sistemas são utilizadas para mostrar a eficiência do CRT proposto em Piereti et al (2008) para sistemas de maior porte.

6.1 Inicialização das estruturas de dados

O CRT proposto “inicializa” as estruturas de dados RNP, AR e RBS, através da análise de uma base de dados da rede, que apresenta a conectividade dos diversos elementos do sistema (seções de barramento, DSs, transformadores, linhas de transmissão, dispositivos *shunt*, etc) no modelo seção de barramento (representação física dos elementos do sistema). A Figura 4 e a Figura 9 ilustram as informações contidas na base de dados de uma rede que serão processadas pelo CRT proposto³. A Figura 5 mostra como o CRT proposto representa o sistema da Figura 4, baseando-se nos estados dos DS apresentados nessa figura.

Observação 1: Quando o CRT proposto é “inicializado”, todos os DSs são considerados abertos. Consequentemente, para cada SBT1, que será representada por um nó de grafo, é atribuído um número, que será utilizado durante todo o processo de configuração de redes (Figura 5).

³ Os estados dos DS na Figura 4 e na Figura 9 não estão na base de dados da rede. Eles são obtidos através de telemetria e estão sujeitos a mudanças.

Análise da Figura 5:

1) Foram criadas 9 BFs para representarem os seguintes componentes *shunt* da rede da figura 4: unidade geradora 1 UG1, unidade geradora 2 UG2, carga 1, carga 2, carga 3, carga 4, condensador síncrono 1 CS1, condensador síncrono 2 CS2 e a carga 5. Para cada uma dessas BFs foi atribuído um número distinto, de 1 a 9 respectivamente.

2) Há quatro árvores representadas na RNP⁴: a árvore 1 com os nós 102, 101, 201, 202, 2, 301, 302, 401, 501, 6, 7, 601, 8, 9, 5, 303, 4, 3 e 1; a árvore 2 com nó 103, a árvore 3 com o nó 203, e a árvore 4 com o nó 602;

3) 13 arestas formam ciclos e não podem ser armazenadas na RNP, assim elas são armazenadas como arestas reservas na estrutura AR, como indicado na Figura 5(b);

4) A estrutura AR não é modificada devido à inclusão das BFs, uma vez que conexões entre SBT1s e BFs não formam ciclos;

5) Analisando a RBS apresentada na Figura 5, pode-se concluir que as SBT1s 101, 102, 201, 202, 401, 501, e 601 não são conectadas por DSs fechados a outras SBT1s. Assim, cada uma destas SBT1 constitui uma única barra da rede;

6) As SBT1s 103, 203 e 602 são isoladas, isto é, não estão conectadas a nenhuma outra SBT1s por DSs fechados. Como estas SBT1s não estão ligadas a nenhuma unidade geradora, elas não fazem parte da rede energizada. Assim, em suas correspondentes posições na RBS (na segunda linha) são atribuídos zero;

⁴ O nó *a* no grafo representa a SBT1 *a* da rede.

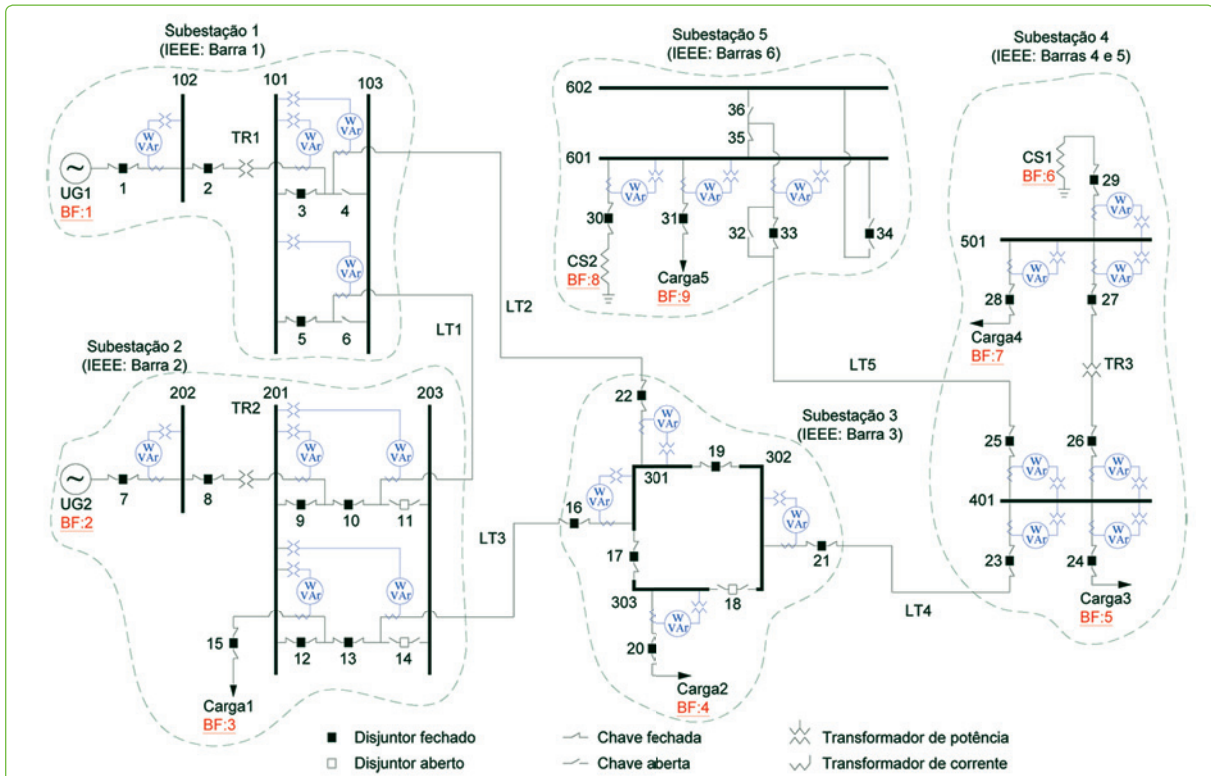


Figura 4 - Modelo da rede em nível de seção de barramento e dos DSs e medidores. (UG representa unidade geradora; LT representa linha de transmissão; TR representa transformador; CS representa condensador síncrono).

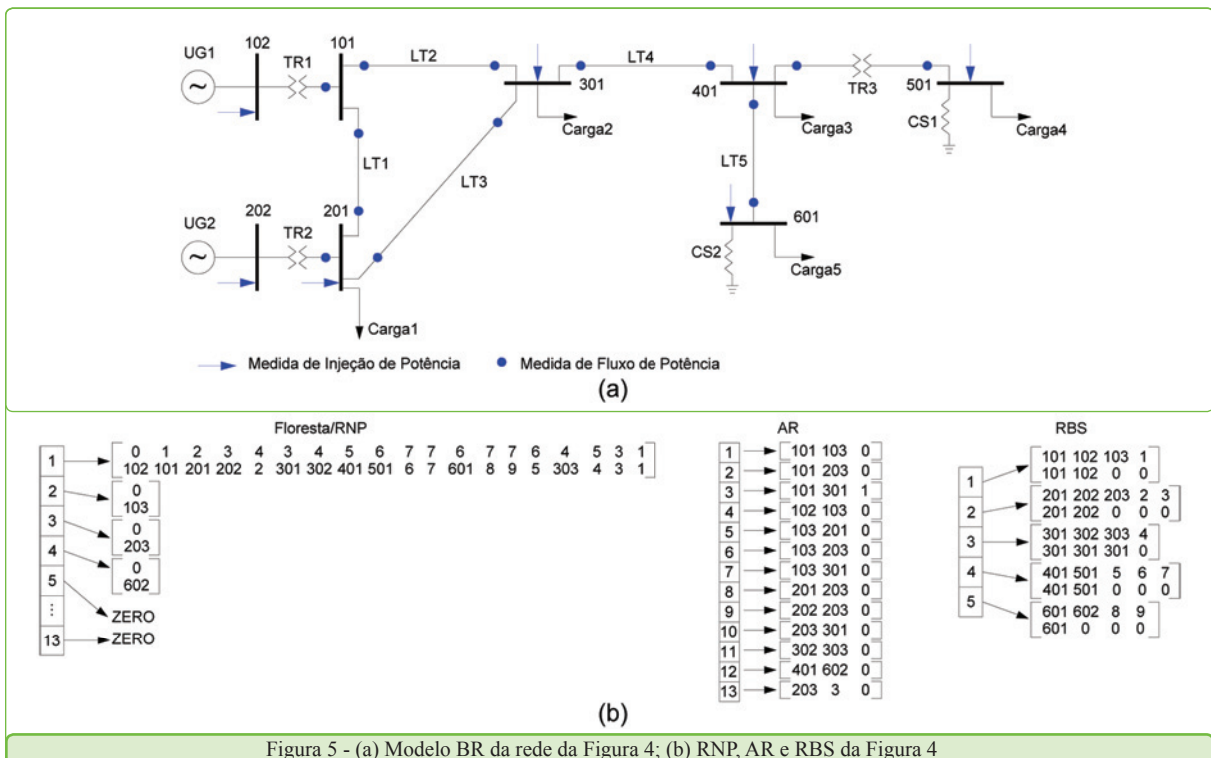


Figura 5 - (a) Modelo BR da rede da Figura 4; (b) RNP, AR e RBS da Figura 4

7) As SBT1s 301, 302 e 303 são conectadas por DSs fechados, em uma mesma subestação, formando, desta forma, somente

uma barra da rede. Então, na RBS é armazenado x nas posições i (na segunda linha), em que x é o menor i ($i = 301, 302$ e 303);

8) Na RBS, todas BFs são inseridas normalmente, porém com indicativo zero na correspondente posição (na segunda linha), uma vez que elas não serão representadas como barras da rede no modelo BR;

9) Para atribuir as medidas de fluxo ou injeção de potência aos componentes da rede no modelo BR, cada medidor é associado a sua correspondente aresta. Por exemplo:

i) Medidor entre os nós 1 e 102: como o nó 1 corresponde a uma BF, esse medidor é representado através de uma medida de injeção na barra 102 da rede, no modelo BR;

ii) Medidor entre os nós 302 e 401: os nós 302 e 401 representam SBT1s. Desta forma, esse medidor é representado por uma medida de fluxo, da barra 301 para barra 401, no modelo BR, uma vez que a SBT1 302 constitui, juntamente com as SBT1 301 e 303, uma única barra da rede, representada pelo número 301 (essa informação é obtida a partir da análise da estrutura RBS).

10) A partir da análise das estruturas RNP, AR e RBS, o CRT proposto informa a topologia da rede, no modelo BR, como mostrado na Figura 5(a).

6.2 Atualização das estruturas de dados

Quando há mudança nos estados dos DSs, o CRT proposto atualiza a topologia da rede, no modelo BR, obtida na análise do ciclo anterior, trabalhando somente com a parcela afetada das estruturas RNP, AR e RBS. Para isso, o CRT proposto utiliza dois operadores, desenvolvidos a partir dos operadores apresentados em Delbem et al (2004).

As funções dos operadores estão descritas a seguir:

Funções do Operador-1:

i) Construir uma nova árvore: é necessário quando um ou mais DSs são abertos entre dois nós de uma mesma árvore, dividindo, assim, uma árvore em duas;

ii) União de duas árvores: ocorre quando DSs conectando nós de duas árvores distintas são fechados, e pelo menos um desses nós é um nó raiz (DIESTEL, 2005). Em situações como esta

uma das árvores deve conectar-se à outra, através do nó raiz.

Funções do Operador-2:

i) Reordenar nós de uma mesma árvore: acontece quando um ou mais DSs se abrem entre dois nós de uma árvore; assim, parte desta árvore é podada, formando uma *subárvore*, mas existe uma aresta reserva que une um nó da árvore remanescente a outro nó da *subárvore* podada;

ii) União de duas árvores: é utilizada quando um ou mais DSs são fechados conectando nós de duas árvores distintas; contudo, neste caso os nós não são raízes das árvores.

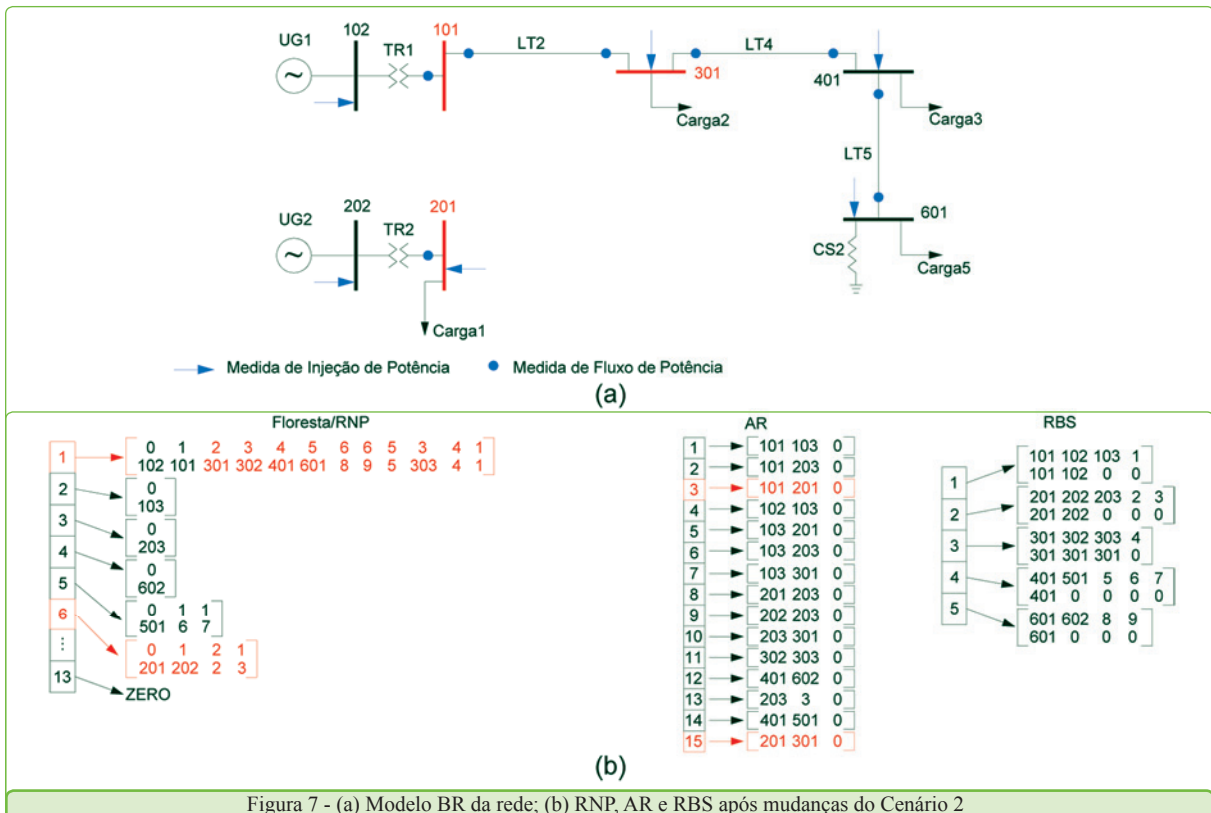
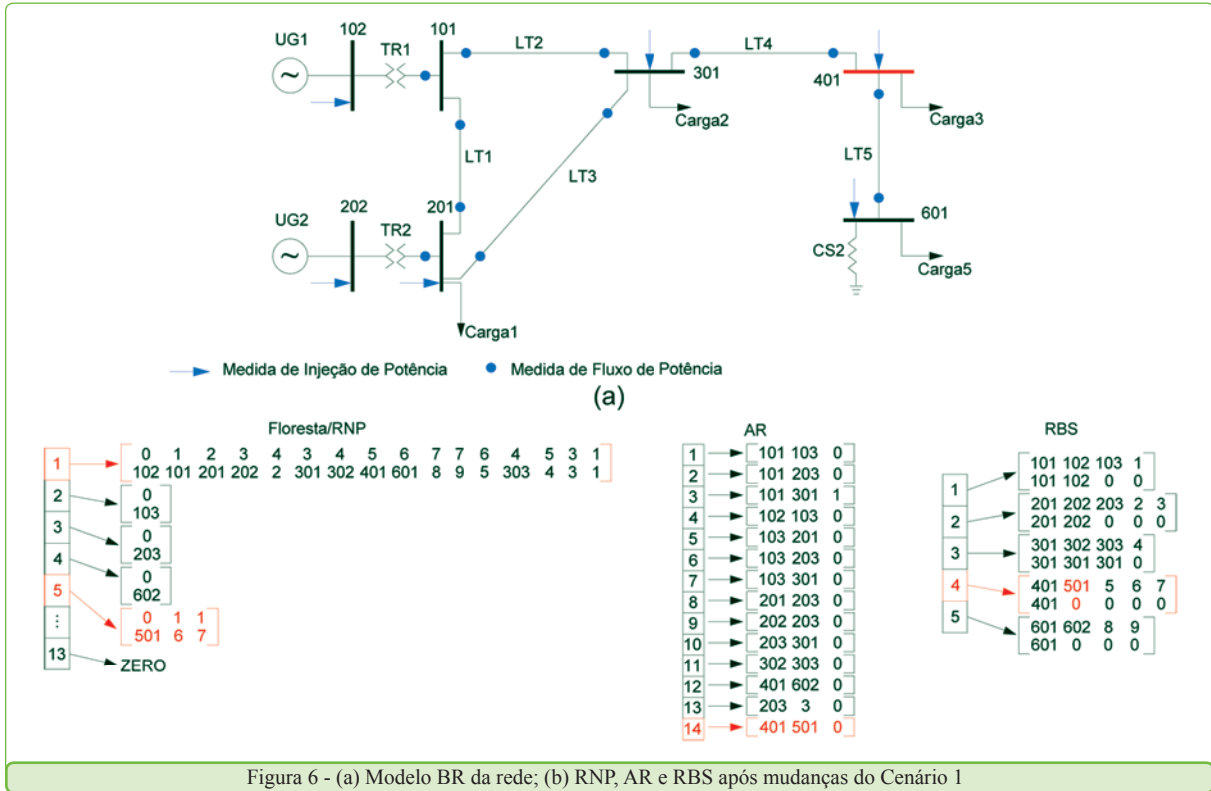
A partir dos estados dos DSs apresentados na Figura 4, uma sequência de mudanças de estados de DSs será realizada, gerando três cenários consecutivos.

Análise do cenário 1, Figura 6: São abertos os dispositivos seccionadores 26 e 27 do sistema da Figura 4. A consequência desta mudança é a perda da ligação entre as barras 401 e 501 da rede. Assim, perde-se tal ligação no modelo BR (Figura 6(a)), bem como as medidas atribuídas à barra 501 da rede, inclusive a medida de fluxo de potência da barra 401 para a barra 501. Observe que a barra 501 é isolada da rede com geração, pois não existe nenhuma aresta reserva que conecte essa SBT1 a outra SBT1 da rede. Assim através do operador 1 função (i) é criada uma nova árvore na estrutura RNP Figura 6(b). Nessa figura é possível verificar as atualizações nas estruturas AR e RBS: adiciona-se em AR a aresta (401 - 501), que foi perdida, e na RBS a SBT1 501 é indicada com índice zero, uma vez que não faz parte da rede energizada, e, por consequência, não será representada no modelo BR.

Análise do cenário 2, Figura 7: Partindo dos dados do cenário 1 (Figura 6(a) e 6(b)), abrem-se os dispositivos seccionadores 5, 10, 13 e 16 da rede da Figura 4. Tendo em vista essas alterações, perdem-se as linhas de transmissão LT1 e LT3, dividindo o sistema em duas ilhas elétricas. As medidas de fluxo de potência incidentes às linhas de transmissão LT1 e LT3 são também perdidas (Figura 7(a)). Na Figura 7(b) apresentam-se as estruturas RNP, AR e RBS

atualizadas. Observe que adicionam-se, na estrutura AR, às duas arestas que foram perdidas, arestas (101 - 201) e (201 - 301), e, elimina-se, dessa estrutura, a aresta (101 -103), pois agora

tal aresta é utilizada na estrutura RNP, indicando a conexão da rede entre as subestações 1 e 3. A estrutura RBS não possui alterações nesse cenário.



Análise do cenário 3, Figura 8: Neste caso, a partir dos dados da 2ª sequência (Figura 7(a) e 7(b)), consideram-se as seguintes mudanças: fecham-se os dispositivos seccionadores 13, 16, 26, 27 e 36; e abre-se o dispositivo seccionador 35 (esses seccionadores são apresentados na Figura 4). As consequências destas mudanças são:

- i) O sistema volta a formar apenas uma ilha energizada, pois, através da linha de transmissão LT3, volta a existir uma conexão entre as barras 201 e 301. As medidas de fluxo incidentes à linha de transmissão LT3 estão presentes novamente no sistema (Figura 8(a));
- ii) A barra 501 é conectada novamente na parte energizada do sistema. Consequentemente, os medidores incidentes a esta barra voltam a fazer parte do sistema de medição disponível (Figura 8(a));
- iii) A barra 601 sai de operação; já a barra 602 entra em operação. Dessa forma, perdem-se os medidores que relacionam a subestação 5 (Figura 8(a));
- iv) As estruturas RNP, AR e RBS atualizadas estão indicadas na Figura 8(b).

Na Figura 9 tem-se o sistema de 14 barras do IEEE, em nível de seção de barramento e dispositivos seccionadores, incluindo arranjos de medidores.

A partir dos estados dos dispositivos seccionadores indicado na Figura 9, obtém-se o sistema de 14 barras do IEEE no modelo BR e a correspondente configuração de medidores, indicado na Figura 10.

Observação 3: Por motivo de espaço, não serão apresentadas às estruturas RNP, AR e RBS, nas simulações com o sistema de 14 barras do IEEE. Apresentar-se-ão, apenas, os modelos BR obtidos e as correspondentes associações de medidores.

Análise da Figura 9: Foram criadas 17 BF's para representarem os seguintes componentes *shunt* da rede da figura 9: unidade geradora 1 UG1, unidade geradora 2 UG2, carga 1, condensador síncrono 1 CS1, carga 2, carga3, condensador síncrono 2 CS2, carga 6, banco de capacitor 1 BC1, carga 4, condensador síncrono 2 CS2, carga 5, carga 8, carga 7, carga 9, carga 10, carga 11. Para cada uma dessas BF's foi atribuído um número distinto, de 1 a 17 respectivamente.

Para testar o configurador de redes proposto, no sistema de 14 barras do IEEE

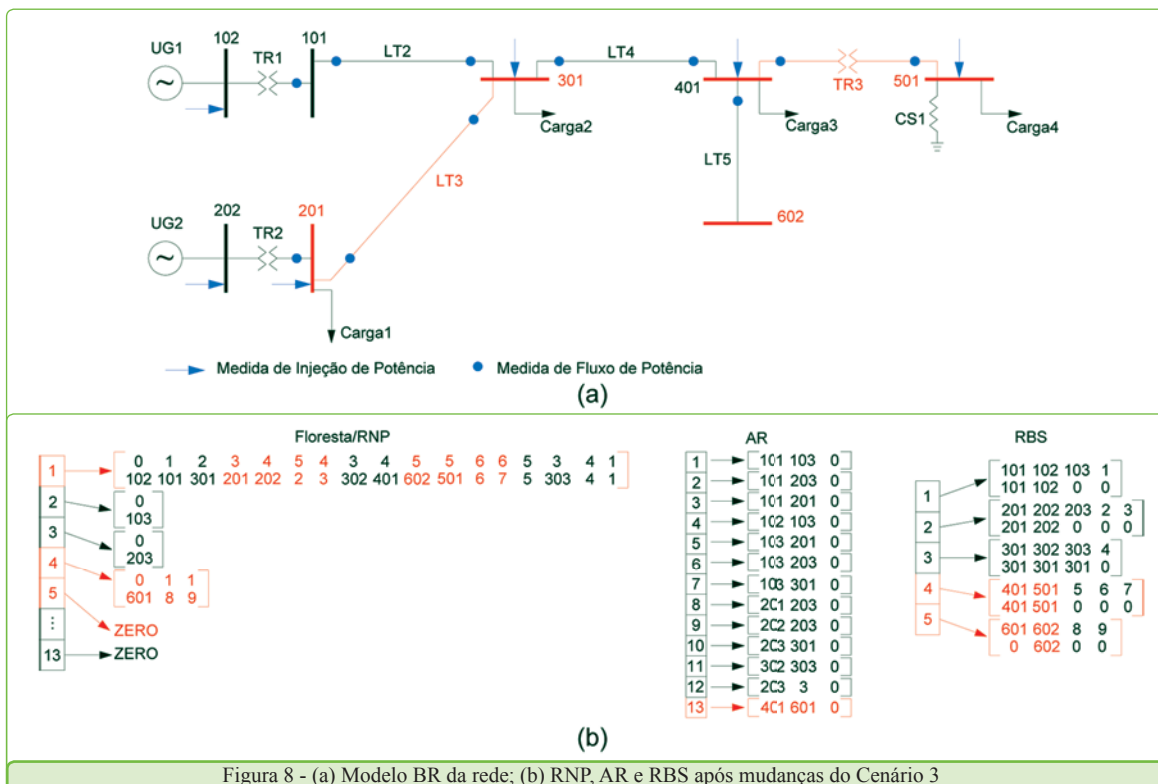
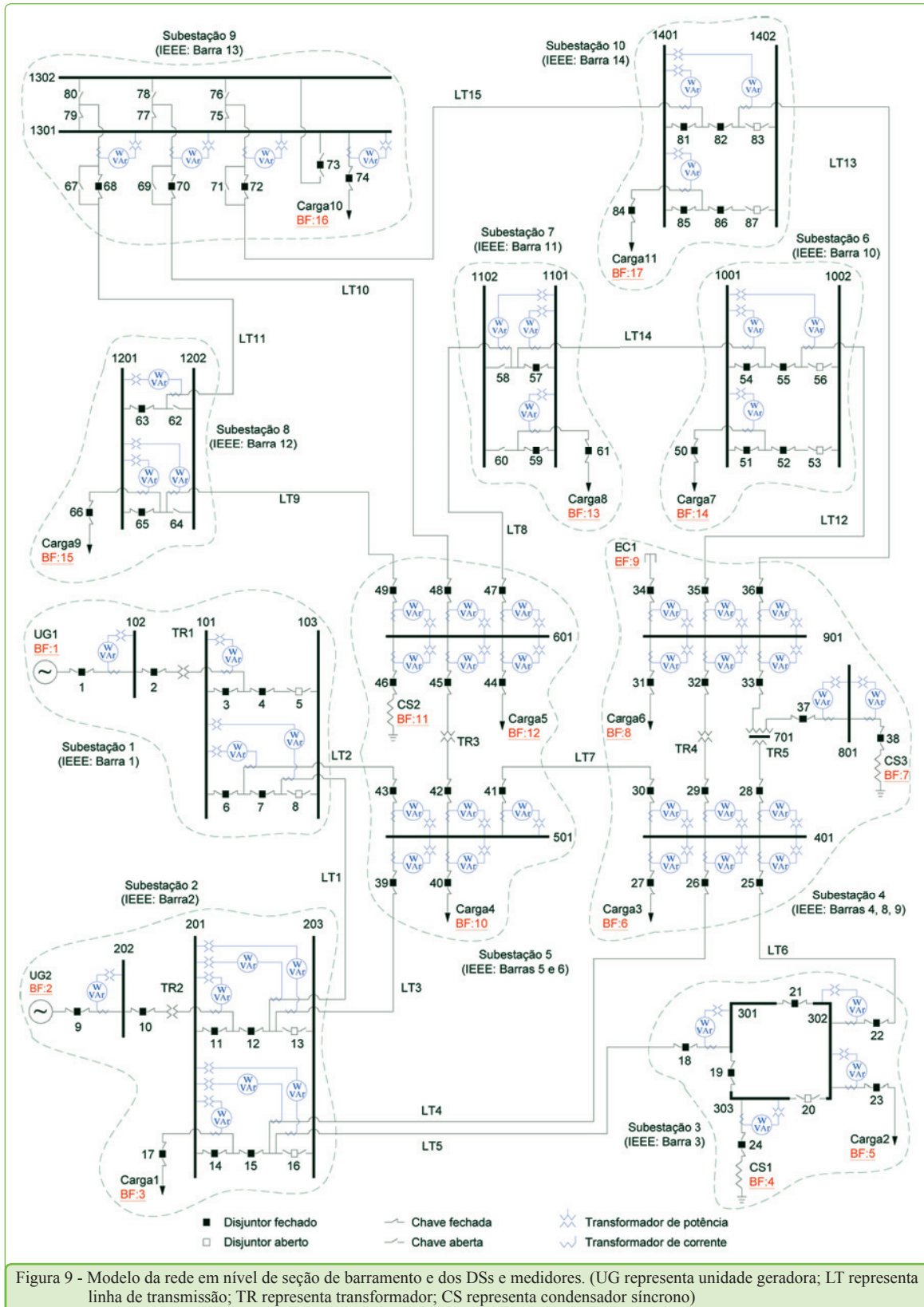


Figura 8 - (a) Modelo BR da rede; (b) RNP, AR e RBS após mudanças do Cenário 3

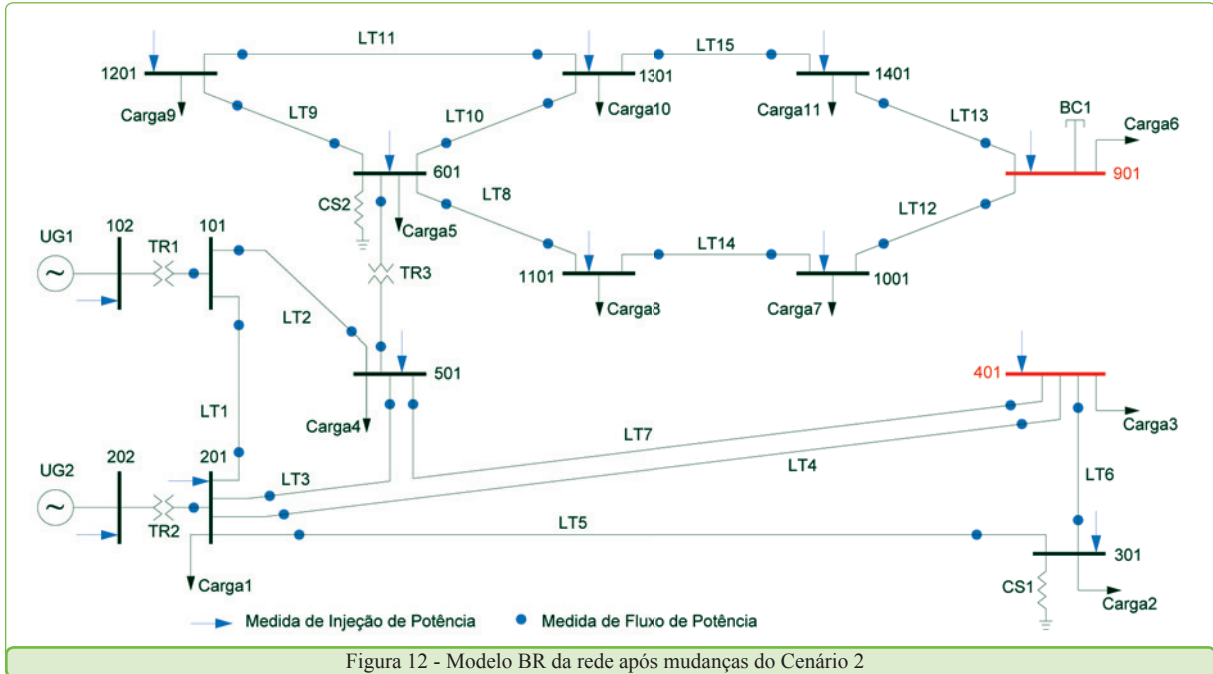
apresentado na Figura 9, consideram-se três sequências de mudanças na topologia da rede, partindo dos estados dos dispositivos seccionadores apresentados na Figura 9. O primeiro cenário acarreta a divisão do

sistema em duas ilhas elétricas; e, partindo novamente dos estados dos dispositivos seccionadores apresentados na Figura 9, realizam-se outros dois cenários consecutivos de mudanças da topologia da rede.



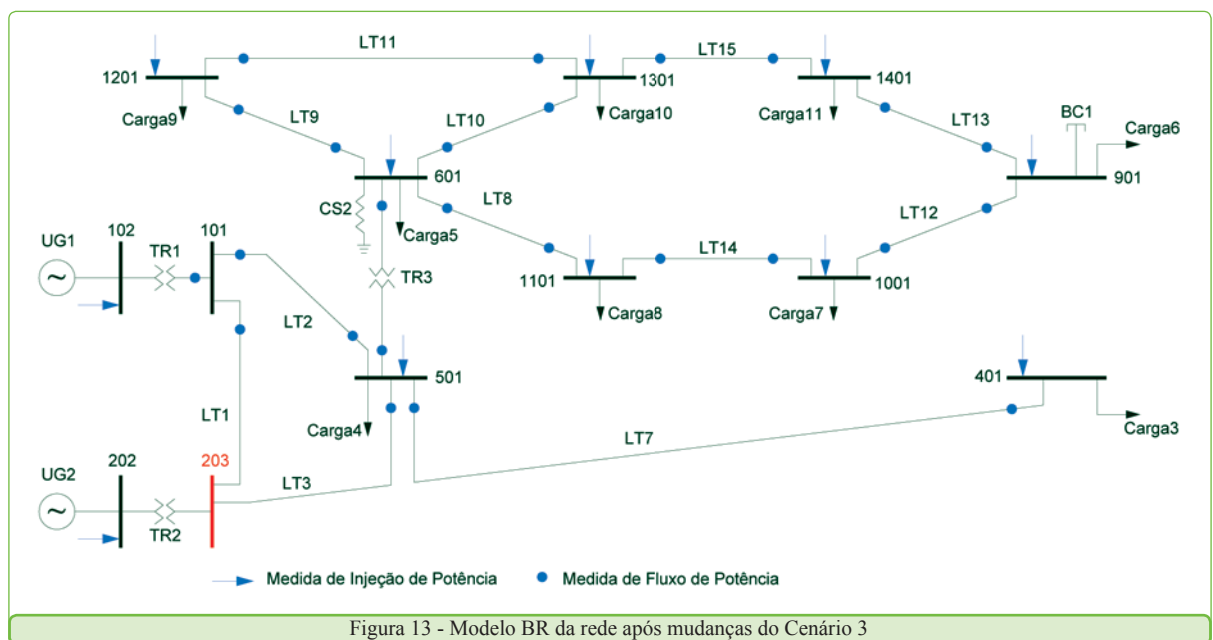
Análise do cenário 2, Figura 12: Neste caso são abertos, partindo do sistema original indicado na Figura 9, os dispositivos seccionadores, 28, 29, 32 e 33, perdendo, assim, as ligações entre as barras: (401 e 901), (401 e 701), e

(701 e 901). No modelo BR resultante, as barras 701 e 801, e os transformadores TR4 e TR5, não aparecem mais no sistema (Figura 12). Conseqüentemente, não aparecem também, os medidores incidentes às barras 701 e 801.



Análise do cenário 3, Figura 13: Partindo dos resultados obtidos após o processamento relativo ao cenário 2 (Figura 12), consideram-se as seguintes mudanças: são abertos os dispositivos seccionadores 11, 14, 18, 22, 25 e 26 e fechado o dispositivo 13, apresentados na Figura 9. Por consequência destas alterações,

tem-se que a barra 201 sai de operação; a barra 203 entra em operação; a subestação 3 é separada do sistema (Figura 13), pois se perdem as linhas de transmissão (LT4, LT5 e LT6). Os medidores relacionados à barra 201, e as linhas de transmissão (LT4, LT5 e LT6) e a subestação 3, são perdidos também.



7 CONCLUSÕES

Neste artigo foram propostas simulações com os sistemas de 6 e 14 barras do IEEE, utilizando o Configurador de Redes “Tracking” (CRT) proposto em Piereti et al (2008), para efeito de estimação de estado, que utiliza uma nova forma de representar árvores de grafo em computador, chamada Representação Nó-Profundidade (RNP).

Em relação aos CRs tradicionais, o CRT proposto possui as seguintes vantagens: (i) Permite a realização das etapas configuração de subestação e de rede ao mesmo tempo, diminuindo assim o tempo de processamento necessário para obtenção do modelo BR. Para isso, o CRT proposto representa cada SBT1 como nó de um grafo e faz uso da RNP, e de outras duas estruturas de dados (AR e RBS); (ii) Fazendo uso de barras fictícias (BFs), para representar os componentes *shunt* do sistema, o CRT proposto possibilita a associação dos medidores de forma mais direta e simples; (iii) Através de uma análise de complexidade (PIERETI, 2007), demonstrou-se que o CRT proposto possibilita a atualização da topologia da rede de forma mais rápida do que os CR tradicionais. Isto em razão, principalmente, da utilização da RNP.

A eficiência do CRT proposto foi comprovada através de diversos testes realizados com os sistemas de 6 e 14 barras do IEEE, associados aos arranjos de barramento de subestações do Sistema Interligado Sudeste do Brasil (alguns desses arranjos foram retirados da Resolução RS-SE-306/78 de 04/01/1978).

A associação do sistema de 14 barras com os arranjos de barramento de subestações deram origem a um grafo com 42 nós (que representam as SBT1s e as BFs) e 77 ramos (que representam os equipamentos série da rede).

Deve-se destacar que mesmo nos testes em que as mudanças dos estados de DSs acarretaram mudanças drásticas na topologia da rede, como é o caso de divisão da rede em ilhas elétricas ou a união de ilhas elétricas, o configurador proposto foi bem sucedido.

REFERÊNCIAS

CHAN, S.M.; BRANDWAJN, V. Partial matrix refactorization. *IEEE Trans. on Power Systems, [S.l.]*, ano.1, n.1, 1986.

DELBEM, A. C. B. et al. Node-depth encoding for evolutionary algorithms applied to network design. *Genetic and Evolutionary Computation Conference 2004, Lecture Notes in Computer Science*. Heidelberg. Part I, p. 678-687, 2004.

DIESTEL, R. *Graph theory*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

MONTICELLI, A. *State estimation in electric power systems*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1999.

PIERETI, S.A.R. *Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estado*. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Elétrica, da EESC-USP, 2007.

PIERETI, S.A.R. et al. Tracking network topology processor using node-depth representation. *Proceedings of the IEEE Power Tech 2007*, Lausanne, Suíça (CD - 404).

PIERETI, S.A.R. et al. Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estado. *XVII Congresso Brasileiro de Automática*, 2008, Juiz de Fora. (CD, artigo 39526), 2008.

PRAIS, M.; BOSE, A. A topology processor that tracks network modifications over time. *IEEE Trans. on Power Systems, Vol.3, N.3*, pp.992-998, 1988.

YEHSAKUL, D. P.; DABBAGHCHI, I.. A topology-based algorithm for tracking network connectivity. *IEEE Trans. on Power Systems, Vol.10, N.1*, p.339-346, 1995.

SISTEMA MICROPROCESSADO PARA MONITORAR O NÍVEL DE ÁGUA, UTILIZANDO SENSOR CAPACITIVO

Antonio A. B. Ribeiro¹
Djalma Medeiros²

Apresenta-se um sistema de monitoramento remoto de medição de nível de líquido por meio do método capacitivo, comparando-o com o método de pressão hidrostática, utilizado como referência. Os dados são enviados do sistema de aquisição, e respectivo microprocessador, para um computador por meio de rádio-frequência. O método capacitivo mostrou-se de construção fácil, alta linearidade e baixa oscilação, podendo ser usado de forma competitiva em diversas aplicações que exigem avaliação de nível de líquidos.

Palavras chaves: Sensor capacitivo. Nível de água. Microprocessador. Rádio frequência.

This article presents a remote monitoring system for measurement the liquid level by means of the capacitive method, comparing it with the hydrostatic pressure method, used as reference. The data are sent from the acquisition system, and respective microprocessor, to a computer by radio-frequency. The capacitive method has shown itself to be easy to use, to demonstrate high linearity and low oscillation, and it can be used competitively at several applications which demand liquids level evaluation.

Keywords: Capacity sensor. Water level. Microprocessor. Radio frequency.

1 INTRODUÇÃO

A medição do nível de líquidos tem grande importância para diversos setores da indústria, assim como para as atividades agropecuárias. Mais recentemente, vários segmentos da sociedade têm, de certa forma, sofrido com a brusca elevação do nível de água, com grande impacto na economia. Portanto, são de grande importância a medição segura e o controle eficaz dos níveis de água nas diferentes atividades exercidas na sociedade.

Existe, atualmente, na literatura, uma variedade de métodos para medir o nível de líquido. Alguns utilizam o método direto, por exemplo, o uso de régua, ou escala graduada, ou também boias e flutuadores. Em contrapartida, outros processos utilizam o método indireto. Pode-se citar nesta

categoria a medição da pressão hidrostática, reflexão de ondas ultrassom, método capacitivo, vibração, e condutividade, entre outros, segundo Balbinot e Brusamarello (2007).

Neste trabalho é apresentado um sistema de medição, controle e transmissão do valor do nível de líquido, podendo ele ser um líquido condutor ou não. Dois métodos são utilizados para medir o nível do líquido: o método capacitivo, que será o objeto de análise, e o método de pressão hidrostática, utilizado como referência. A utilização do método capacitivo deve-se à facilidade da construção do sensor, alta linearidade e pequena influência da temperatura.

Já o método de pressão hidrostático utiliza sensor tipo Gauge de fácil manuseio, autocalibração e com sistema de correção da influência da temperatura. O sistema de

1 Mestre em Engenharia Elétrica pela Unicamp - Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Salto. E-mail: <ribeiroa@terra.com.br>.

2 Doutor em Física pela Unicamp - Professor da Faculdade de São Bento. E-mail: <djalma@correionet.com.br>.

controle permite detectar os níveis mínimo e máximo, e através da transmissão por rádio-frequência é possível enviar informações para um computador central e exibi-las. As informações mostradas são o valor do nível medido pelo sensor capacitivo e do sensor que mede a pressão hidrostática.

A Figura 1 representa o sensor do tipo capacitivo, sendo os terminais A e B fios de cobre encapados.

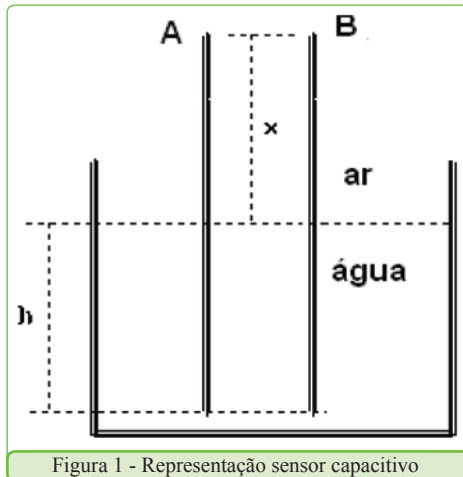


Figura 1 - Representação sensor capacitivo

De acordo com a Figura 1, é possível especificar dois capacitores. O capacitor formado pelo dielétrico ar, denominado de C_x , e o formado pela água, chamado C_h . As dimensões do sensor são mostradas na Figura 2.

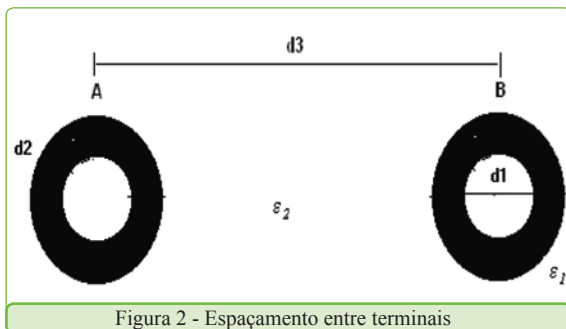


Figura 2 - Espaçamento entre terminais

O modelo utilizado para se obter a capacitância do sensor é o da linha de transmissão, segundo Sadiku(2001). Neste caso, como nenhuma das extremidades está ligada ao terra, tem-se:

$$C_h = \frac{\pi h}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{\epsilon_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)} \quad (1)$$

$$C_x = \frac{\pi x}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{\epsilon_o} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)} \quad (2)$$

onde:

ϵ_0 = permissividade do vácuo ou ar (F/m)

ϵ_1 = permissividade do teflon, revestimento do fio condutor (F/m)

ϵ_2 = permissividade da água (F/m)

d_1 = diâmetro interno do terminal (m)

d_2 = diâmetro externo do terminal (m)

d_3 = distância entre os centros dos terminais (m)

x = altura do capacitor formado pelo meio ar (m)

h = altura do capacitor formado pelo meio água (m).

Portanto, à medida que o nível do líquido se altera, as capacitâncias C_h e C_x mudam de valor. A capacitância total é o paralelo entre ambas, ou seja:

$$C_t = C_h + C_x \quad (3)$$

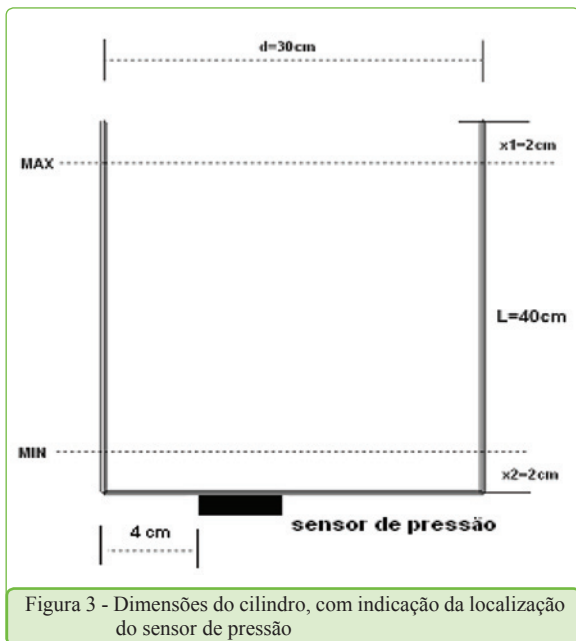
2 METODOLOGIA

O sensor capacitivo desenvolvido utiliza dois fios de cobre encapados, cujo diâmetro externo vale 2,7 mm e o diâmetro interno 1,3 mm. O material que reveste o fio de cobre é o teflon com permissividade relativa igual a 2,04, de acordo com Reverter e Meijer (2007). Os terminais estão espaçados entre si por uma distância de 28,5 cm, imersos na água, onde somente o terminal B está em contato elétrico com o líquido. Nestas condições o valor da capacitância por centímetro vale:

$$C_x = 0,0554 \text{ pF/cm}$$

$$C_h = 0,6675 \text{ pF/cm}$$

A estrutura utilizada para medir o nível de água é constituída de um cilindro de plástico transparente cujo diâmetro vale 30 cm e tem comprimento total de 44 cm. O cilindro foi graduado na escala de milímetro, sendo a altura do sensor equivalente a 40 cm, de acordo com a Figura 3. Utilizando-se as expressões (1), (2) e (3), estima-se o valor da capacitância total aproximadamente entre 4 a 31 pF.



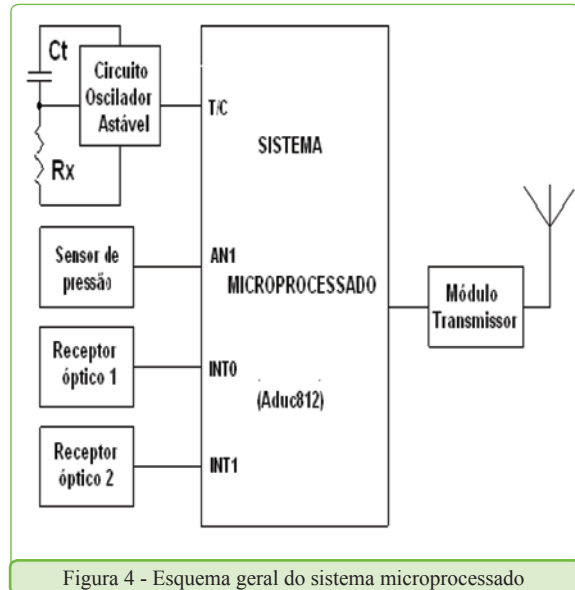
Os terminais do sensor capacitivo são ligados no circuito oscilador astável, conforme a Figura 4. O período T do sinal na saída é obtido através de:

$$T = 4,40 R_x C_t$$

C_t = capacitância total resultante do dielétrico ar e água;

R_x = resistor externo de valor igual a 100k Ω .

Este sinal, onda quadrada, é conectado na entrada do circuito temporizador/contador do microcontrolador Aduc812 (AnalogDevices). A variação da capacitância é convertida em número inteiro com resolução de 16 bits.



Com o objetivo de constatar a linearidade e a estabilidade do sensor capacitivo, utilizou-se um sensor de pressão como referência. Esse sensor mede o nível de água através da variação da pressão hidrostática. A localização do sensor no sistema é mostrada na Figura 3. O sensor utilizado é o MPX5010DP (Motorola), que varia a tensão na saída de 0,2 a 4,7 volts para uma pressão diferencial entre 0 a 10 kPa. Esse componente possui compensação do efeito da temperatura, inerente na medida de pressão, na faixa de 0 a 85°C. A saída de sinal do sensor é ligada à entrada analógica do microprocessador Aduc812, então é convertida em informação binária com resolução de 12 bits.

A faixa útil do sensor foi delimitada entre os pontos MIN e MAX da Figura 3, que corresponde a um tamanho de 40 cm. Nesses locais foi introduzido um sistema ótico constituído de um emissor e um fotodetector. Dessa forma é possível determinar com precisão o exato instante em que o nível do líquido passa por essas marcas, as quais atuam como pontos de calibração. Os sinais elétricos desses pontos são ligados às entradas de interrupção do microprocessador.

Finalmente as informações do valor da capacitância e da pressão hidrostática são enviadas do microprocessador para um computador através da rádio-frequência. O módulo RT4-433 da Telecontrolli

é o responsável por essa transmissão. Esse transmissor é do tipo *half-duplex* com taxa de envio de 1200 bits por segundo.

Um dos objetivos deste trabalho é o monitoramento à distância do nível de água. Portanto, a parte responsável pela exibição dos dados encontra-se afastada daquela que transmite. A Figura 5 mostra o esquema geral da recepção. O módulo receptor é constituído basicamente pelo componente RR4-433 da Telecontrolli. A comunicação é feita na frequência de 433 MHz e sincronizada pelo transmissor com taxa de comunicação de 1200 bits por segundo. O sinal na saída do receptor está ligado na porta serial do computador. Um programa, desenvolvido na linguagem de programação Delphi, recebe as informações sobre a capacitância e a pressão do líquido e as exibe no vídeo. Também está disponível o recurso de gravação dos dados.

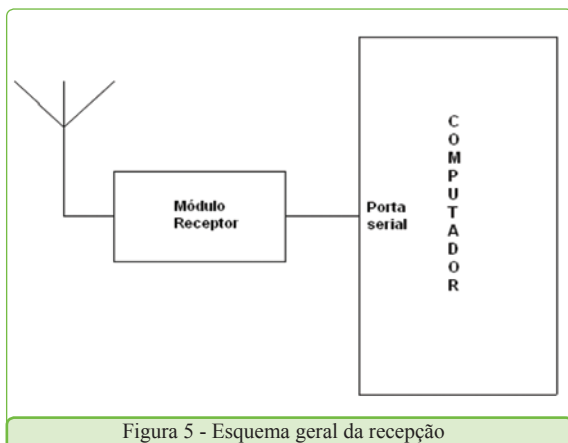


Figura 5 - Esquema geral da recepção

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema foi testado considerando a distância entre o transmissor e receptor de no máximo de 100m. Neste raio de ação, o sistema mostrou-se eficiente. O transmissor envia a cada 70 m uma sequência de cinco bytes. Dois bytes referentes ao sensor capacitivo, dois bytes referentes ao sensor de pressão e um byte para os estados dos sensores óticos. A tabela 1 mostra os valores da capacitância em função do nível da água.

Tabela 1 - Capacitância do sensor

h(cm)	C_t (pF)	h(cm)	C_t (pF)
5	12,57	25	29,01
10	16,92	30	32,88
15	20,79	35	35,78
20	25,15	40	38,68

Os valores medidos, entre o ponto mínimo e o máximo, são mostrados na Figura 6. A curva B mostra os valores experimentais e a curva A o ajuste linear. A concordância observada indica que a capacitância varia de forma linear com o nível da água, apesar da curva experimental apresentar pequenas variações, principalmente para h acima de 20 cm. Essas variações podem ser decorrentes de alterações não lineares do circuito oscilador estável e serão futuramente analisadas em novos experimentos.

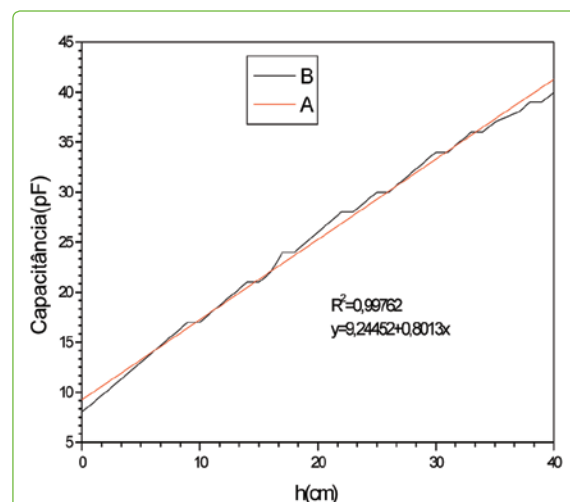


Figura 6 - Relação entre capacitância e a altura do nível da água. A, ajuste linear; B curva experimental

Um dos objetivos deste trabalho foi analisar o método capacitivo para medição do nível de água. Para avaliar a eficiência desse método, foi utilizado, como referência, um sensor de pressão hidrostático. A Figura 7 mostra os resultados de ambos os métodos. Como os dois sensores medem grandezas diferentes, um a capacitância e o outro a pressão, utilizou-se então o valor decimal correspondente a cada grandeza. Pode-se observar que a curva B, que representa os valores do sensor de pressão,

apresenta maiores oscilações do que as oscilações da curva A, que representa o sensor capacitivo. Essas oscilações indicam que serão necessárias mais análises desses dados e por consequência um aprimoramento maior dos circuitos eletrônicos. Entretanto, o gráfico devido ao sensor capacitivo apresenta menores oscilações. Em parte, essa diferença de comportamento também pode ser analisada em função da sensibilidade do sensor de pressão em relação ao capacitivo. De acordo com a Figura 7, o sensor de pressão apresenta uma maior sensibilidade, como indicado pela maior inclinação do seu gráfico, e, portanto, isto o deixa mais suscetível às alterações do nível de água.

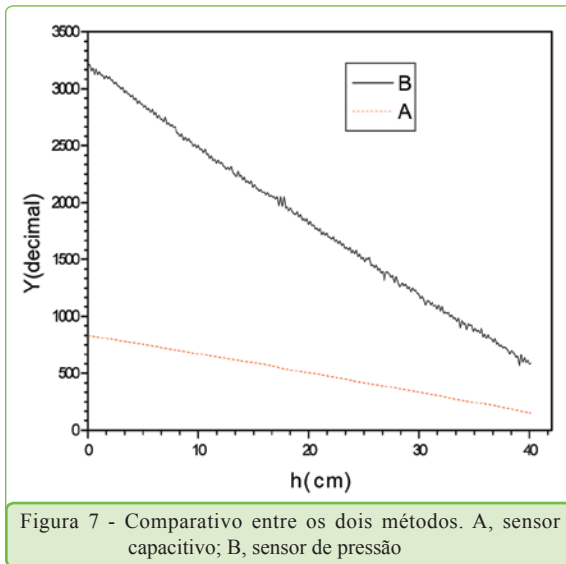


Figura 7 - Comparativo entre os dois métodos. A, sensor capacitivo; B, sensor de pressão

4 CONCLUSÃO

O monitoramento do nível de água que utiliza o sensor capacitivo mostrou-se viável.

Comparando-se esse método com aquele que utiliza o sensor de pressão, ele mostrou-se menos imune às oscilações do nível de água, mais econômico e de fácil construção. A transmissão de dados por rádio-frequência permitiu, de forma eficiente, monitorar à distância os parâmetros do sistema. Num futuro próximo será possível construir uma rede interligada de vários sensores com diversos pontos de captação de dados, com aplicações em muitos setores da sociedade.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – *campus* Bragança Paulista, pelo incentivo e execução deste trabalho

REFERÊNCIAS

- BALBINOT, A; BRUSAMARELLO, V. J. *Instrumentação e fundamentos de medidas*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- REVERTER, F.; LI, X; MEIJER, G. C. M. Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor”. *Sensors and actuators A*, 2007. vol. 138, p.1-8.
- SADIKU, M. N. O. *Elements of electromagnetics*. New York: Oxford University Press, 2001.

Elifas Levi da Silva *

Este artigo relata uma pesquisa qualitativa, realizada no IFSP nos campi de Cubatão e São Paulo nos meses de setembro e outubro de 2010, acerca de perspectivas de pesquisa e de conceitos da propriedade intelectual, uma vez que a produção de pesquisa aplicada em estreita ligação com a sociedade é parte da nova meta dos Institutos Federais. Quarenta e cinco professores de diversas áreas do conhecimento responderam a um pequeno questionário, cuja análise nos permite inferir a imensa semelhança entre os Institutos Federais e as Universidades tradicionais. Embora as estruturas e as finalidades atuais sejam diferentes, os profissionais são os mesmos e quando muito têm as mesmas preocupações, o que não contribui para a consecução destes objetivos. Conclui-se, entre outras coisas, pela necessidade de se trabalhar para tornar a propriedade intelectual um elemento da cultura local, envolvendo professores e alunos o tempo todo, como forma de diferenciar, transformar e aproximar práticas e comportamentos dos Institutos com vistas às metas da instituição.

Palavras-chave: Propriedade intelectual. Pesquisa qualitativa. Educação profissional.

This article reports a quality research, performed at IFSP, in Cubatao and Sao Paulo units, during September and October, 2010. It's about the search perspectives and concepts concerning copyright, once the work in practical research, strictly linked to the society, is part of the Federal Institutes goals. Forty-five professors specialized in multiple areas have answered a short questionnaire, which we analysed and then deduced the huge similarity between Federal Institutes and traditional universities. Although the structures and aims are different in both cases, the professionals are the same and have similar concernings, what does not contribute to achieve IFSP objectives. This led us to conclude, among other aspects, that it is necessary to work in order to turn the copyright into an element of the local culture, involving teachers and students as to distinguish, transform and approach attitudes concerning the Institutes as a way to reach the college goals.

Keywords: Intellectual property. Qualitative research. Professional education.

1 INTRODUÇÃO

O esforço para a produção de conhecimento e tecnologia demanda recursos pessoais e econômicos de grande monta. Mais recentemente o Brasil vem desenvolvendo políticas¹ de grande alcance com vistas à invenção e à inovação, incentivando a criação de NIT (Núcleos de Inovação Tecnológica) em todas as instituições, públicas e privadas,

¹ Entre outras ações, pode-se citar o Plano de Ação em Ciência e Tecnologia, o Plano de Desenvolvimento da Produtividade, a lei da inovação, a lei do bem e várias outras políticas conduzidas pela Finep e pelo BNDES.

e convidando seus pesquisadores para a tarefa de inovar e transferir conhecimento ao setor produtivo. Este objeto – este conhecimento – é elemento de Propriedade Intelectual, agora alvo do esforço das instituições, e é novo para muitos pesquisadores, que preocupados em publicar por conta dos mecanismos de avaliação profissional típicos das universidades, pouco se preocupam com a propriedade, com a proteção do produto de seu trabalho, e, por conta disso, em geral desconhecem os mecanismos básicos de proteção e os conceitos básicos da

* Doutor em Educação pela Faculdade de Educação - Ensino de Ciências e Matemática pela USP. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Cubatão. E-mail: <elifas_levi@ifsp.edu.br>.

propriedade intelectual. Muitos desconhecem o valor e as possibilidades de tal sistema para o desenvolvimento do próprio trabalho, uma vez que ele oferece o estado da técnica e informações que não estão disponíveis em nenhum outro lugar. Pretende-se aqui iniciar e fomentar-se esta discussão, sem qualquer pretensão de esgotar qualquer dos elementos abordados, apresentando informações e conceitos importantes para o desenvolvimento e a proteção da propriedade intelectual.

2 UM POUCO SOBRE PROPRIEDADE

A propriedade, como instituto jurídico, é o direito exclusivo, que, em caráter permanente, se tem sobre a coisa que pertence a um titular, é o âmago dos Direitos Reais (OLIVEIRA, 2008). Modernamente, com o desenvolvimento da produção e o domínio de técnicas avançadas, para além das mercadorias, chegou-se ao domínio do próprio conhecimento. Esse desenvolvimento, aliado a mudanças socioculturais, criou um novo conceito de propriedade: a propriedade moderna. Com isso, a propriedade não se refere mais apenas aos objetos tangíveis e a bens imóveis, ganha assim maior amplitude, e não se constitui numa instituição única, mas num conjunto de várias instituições, relacionadas a diversos tipos de bens e serviços.

A propriedade, além de reservar direitos, deve também cumprir papel social. A Constituição Federal (1988), no Título II, fala dos direitos e das garantias fundamentais. No artigo 5º garante o direito de propriedade e impõe que ela atenda a sua função social, conforme os incisos 22 e 23. No Título VII fala da ordem econômica e financeira, e reitera os princípios da propriedade privada e da função social da propriedade. No nosso código civil, no capítulo I, o direito de propriedade é tratado no artigo 1.228, novamente atentando às funções sociais da propriedade: “*O proprietário tem a faculdade de usar, gozar e dispor da coisa, e o direito de reavê-la do poder de quem quer que injustamente a possua ou detenha. § 1º O*

direito de propriedade deve ser exercido em consonância com as suas finalidades econômicas e sociais (...)”.

O direito de propriedade, mais facilmente compreendido quando se fala dos bens tangíveis, aqueles que existem fisicamente, também se estendem aos bens intangíveis, aqueles que não têm existência física e que são frutos do conhecimento humano. O conjunto destes direitos se refere à Propriedade Intelectual, ou seja, àqueles que incidem sobre as criações do intelecto humano.

3 UM POUCO SOBRE A EVOLUÇÃO DO DIREITO DE PROPRIEDADE

Até o século XV, os reis e governantes concediam aos indivíduos licenças para explorar certos negócios, produção, comércio ou serviços. Estas licenças eram privilégios que atendiam a interesses variados, indo desde o estímulo a determinado setor, até o favorecimento puro e simples de pessoa ou grupo de interesse dos governos. Já no século XV temos o nascimento das patentes, provendo uma proteção mais eficiente que as antigas licenças, mas ainda assim fundadas na ideia do monopólio (NETO, 2010). As patentes venezianas, de 1474, demonstram o valor e a necessidade de uma proteção que incentivasse a produção, resguardasse direitos e que tivesse função social, quando determinaram que o direito de patente fosse concedido apenas se o invento apresentasse *Novidade e Aplicação industrial*, oferecendo em troca *Exclusividade de exploração e Sanção* contra terceiros que utilizassem a invenção sem autorização do titular. Para a garantia destes direitos também se exigia uma *descrição exata* do invento, proibindo o segredo, assegurando também os interesses do estado. A importância desta proteção iniciada com as patentes venezianas foi reafirmada pela larga disseminação patentária que ocorreu no ocidente a partir do século XVI e XVII, por exemplo, com A primeira Lei de Patentes dos EUA (“Patent Act” - 1790); A Lei Nacional relacionada a Patentes – França 1791, e o Alvará de 28

de abril de 1809 de Dom João VI. Desde então, este sistema de proteção continuou se expandindo e se modernizando à medida que o comércio e a produção mundial foram aumentando, impulsionados pela crescente globalização.

4 O SISTEMA DE PROPRIEDADE INTELECTUAL (PI) NO BRASIL

O Sistema de Propriedade Intelectual no Brasil é um conjunto de leis que congrega dois troncos: *a Propriedade industrial e os Direitos de autor*. No primeiro caso estão definidas pela Lei da Propriedade industrial 9.279/96 a concessão de *Patentes*, o registro de *Marcas* e de *Desenhos industriais*, e as *indicações geográficas*. No segundo caso duas leis regulam a matéria, os direitos sobre *músicas, obras de arte e obras literárias*, atendidos pela lei 9.610/98, acerca dos direitos autorais, e os *programas de computador*, atendidos pela lei 9.609/98, que se refere à propriedade intelectual do programa de computador. Como a produção intelectual vem-se diversificando, outras matérias exigiram leis específicas de regulação, que chamamos de mecanismos *sui generis*: as leis dos Cultivares (Lei 9.456/97), dos Circuitos Integrados (Lei 11.484/07), das Células-Tronco, dos Transgênicos (Lei de Biossegurança, 11.105/05), dos Conhecimentos Tradicionais (MP 2186-16/01).

5 EXPLICITANDO OS ELEMENTOS DA PROPRIEDADE INTELECTUAL

Os direitos autorais:

Os direitos de autor, ou Direito autoral, se referem à produção intelectual humana, em dois campos, *o direito pela criação e o direito pela divulgação*. O primeiro caso se refere às obras literárias e artísticas – abrange todas as produções do domínio literário, científico e artístico, qualquer que seja o modo ou a forma de expressão (CUB – Convenção da União de Berna – 1886). O segundo caso, os direitos

conexos, se refere ao direito dos artistas, intérpretes ou executantes, dos produtores de fonogramas e dos organismos de radiodifusão (CONVENÇÃO DE ROMA, 1961).

Os direitos de autor não protegem ideias e pensamentos, mas somente as obras fixadas. Ideias e pensamentos são livres e devem ser utilizados por toda a sociedade para seu desenvolvimento. A proteção dos direitos de autor é automática e não necessita sequer de registro, basta que a obra seja fixada e se prolonga por 70 anos após a morte do autor. Depois deste prazo a obra passa ao domínio público, podendo ser utilizada por qualquer pessoa sem a necessidade de licença prévia de quem quer que seja. A proteção do direito de autor se dá em duas frentes, ou seja, o direito moral e o direito patrimonial. No primeiro caso permite ao autor adotar certas medidas para preservar o vínculo pessoal existente entre ele e a obra, e, no segundo, permite ao titular dos direitos extrair um benefício financeiro em virtude da utilização de sua obra por terceiros.

6 A PROPRIEDADE INDUSTRIAL

A propriedade industrial visa promover a criatividade pela proteção, disseminação e aplicação de seus resultados, por meio de quatro instrumentos distintos – a Patente, a Marca, o Desenho Industrial e a Indicação Geográfica. Cada um deles se aplica a objetos distintos e confere proteção específica ao titular dos direitos, sem esquecer que devem atender a funções sociais.

As *Patentes* são títulos de propriedade temporária, outorgados pelos estados aos inventores por um período de 20 anos, improrrogáveis. As patentes conferem a seus titulares o direito de impedir terceiros, sem seu consentimento, de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar. A patente representa um contrato entre inventor e sociedade, garantindo os interesses de ambos. Ao inventor a sociedade garante a exclusividade de exploração, produção, comercialização ou licenciamento, por tempo limitado. À sociedade o inventor oferece um novo produto e se obriga a

divulgar em detalhes os conhecimentos e as técnicas que permitem produzir tal bem, não se aceitando o segredo para um bem protegido.

O *Modelo de utilidade* é um melhoramento de produto ou tecnologia para a qual já existe patente, representando um avanço à condição anterior. A seu inventor a sociedade garante um direito de exploração de seu melhoramento por prazo determinado e, como no caso da patente, não admite o segredo, exigindo uma descrição completa dos conhecimentos e técnicas capazes de levar à execução de tal melhoramento. O direito do modelo de utilidade não interfere nos direitos de patente de onde deriva ou onde se aplica tal melhoramento. Este direito de exploração é concedido por 15 anos.

Entende-se como *Marca* todo sinal distintivo, visualmente perceptível, que identifica e distingue produtos e serviços de outros análogos, de procedência diversa, bem como certifica a conformidade deles em relação a determinadas normas ou especificações técnicas. As marcas podem ser Nominativas, ou seja, um nome, por exemplo, Petrobras. Elas podem ser Figurativas, ou seja, uma figura. Quem não reconhece símbolo da Volkswagen que combina duas letras um V e um W dentro de um círculo? Podem ser Mistas, ou seja, podem combinar nomes e figuras. Por exemplo, a combinação de uma imagem – uma asa – e o nome Honda. E por fim, uma marca pode ser Tridimensional, ou seja, uma forma em três dimensões, como, por exemplo, a garrafa de vidro da Coca-Cola. A função da marca é distinguir, indicando a procedência, servindo de garantia à sociedade e por isso não se admite que seja enganosa, que leve o consumidor a erros. Em contrapartida, a sociedade garante ao titular da marca o direito de exploração por tempo indefinido.

O *Desenho industrial* se refere à forma plástica ornamental de um objeto ou conjunto ornamental de linhas e cores aplicado a um produto, proporcionando resultado visual novo e original na configuração externa e serve como tipo de fabricação industrial.

O Desenho Industrial não está relacionado ao funcionamento, mas à forma. É fácil perceber no mercado as inúmeras formas em que se apresentam produtos que têm a mesma finalidade. Por conta desta forma, eles podem ser mais adequados ou fáceis de usar *ou podem agradar* mais o gosto de cada consumidor. É esta diferença que se protege no desenho industrial. Esse é um registro ágil, concedido rapidamente e que confere reconhecimento de pioneirismo junto aos consumidores, e proteção contra cópias ilegais. Os direitos do desenho industrial são concedidos por 10 anos, sendo possível três renovações sucessivas de 5 anos.

O registro de *Indicação geográfica* é o reconhecimento de que um determinado produto é proveniente de uma determinada área. E sua comunicação com o consumidor pode ser por qualquer expressão ou sinal utilizado para indicar que um produto ou serviço é originário de um país, uma região, um lugar específico de onde o produto se originou. As qualidades que são características do produto são devidas exclusiva ou essencialmente ao ambiente geográfico de onde provém, incluindo os fatores naturais ou humanos ou ambos. Esta definição deixa claro que a indicação geográfica se refere a algum produto de certa região e, portanto, conferida a um grupo de produtores em associação, que determinam as regras e os padrões de qualidade para ostentar o selo de indicação geográfica. A sociedade concede a uma associação de produtores o direito de se comunicar com o mercado consumidor por meio de uma distinção tipificadora, o que confere a este grupo uma exclusividade e uma vantagem comercial. Em contrapartida, a sociedade recebe um produto de garantia reconhecida. A legislação não prevê prazo de vigência para estes direitos.

Como regras gerais, em função do tempo que pode decorrer entre o depósito do pedido de direito até a sua concessão, se estabeleceu que o prazo de vigência de uma patente de invenção não será menor que 10 anos e, no caso de modelo de utilidade, que a vigência não será menor que 7 anos.

7 UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE A PRODUÇÃO DE VALOR

Os bens tangíveis sempre foram e continuarão sendo elementos de valor e de geração de riqueza e conforto para seus titulares e para as sociedades, entretanto a produção de bens tangíveis não é o objetivo dos Institutos de Ciência e Tecnologia.

Neste tipo de instituição estão os Institutos Federais, criados para, além de diversos outros objetivos, produzirem bens intangíveis, para se desenvolverem na área da pesquisa aplicada, e incentivar pesquisas que visem forjar novas tecnologias (PDI - IFSP 2009-2013), e, assim, direta e rapidamente, beneficiar a sociedade brasileira.

As tecnologias não são novidades, elas são tão antigas quanto a própria humanidade (REIS, 2009), mas são dinâmicas, vão sendo substituídas e melhoradas rapidamente, num processo de inovação contínuo, com alcance cada vez mais sentido por todos. As sociedades vão produzindo invenções e inovações que chegam cada vez mais depressa ao mercado. A revista *Veja*, de 29 de julho de 1998, reproduziu dados do National Center for Policy Analysis, mostrando que o tempo necessário em anos para que uma nova tecnologia atinja 50 milhões de pessoas é cada vez menor, como se pode ver na tabela abaixo:

Tabela 1 - A partir de *Veja* 29 de julho de 1998

Invento	Eletricidade	Telefone	Carro	Rádio	Televisor	Microondas	Celular	Web
Data	1873	1876	1886	1906	1926	1953	1983	1993
Tempo	46	35	55	22	26	30	13	04

Estes dados nos asseguram que a quantidade de informação tecnológica² produzida é muito grande e que vem crescendo ano a ano. Estas informações, transformadas e se transformando em produtos, vão rapidamente mudando comportamentos sociais e também a pauta

2 Informação Tecnológica é todo tipo de conhecimento sobre tecnologias de fabricação, de projeto e de gestão, que favoreça a melhoria contínua da qualidade e a inovação no setor produtivo.

de produtos de exportação, agregando cada vez mais valor, como ocorre nos países desenvolvidos. No Brasil a pauta é historicamente baseada na exportação de *commodities* primárias e produtos intensivos em trabalho e em recursos naturais (NEGRI, 2005), o que reforça a necessidade de pesquisa e inovação, tanto para a criação de novos produtos, quanto para agregar maior valor aos produtos tradicionais.

8 PROBLEMA E SOLUÇÃO

Não é novidade alguma que os produtos industrializados têm mais valor que as matérias - primas. Para exemplificar, uma tonelada de silício metálico estava cotada (em setembro de 2010) em até US\$ 1500,00 dólares, ao passo que um processador CORE I7³ Intel chegava a custar R\$ 900,00 reais nos distribuidores no Brasil, e utiliza poucos gramas desta substância.

O que se acrescenta às matérias-primas é conhecimento, isto pode agregar mais valor que todos os outros componentes do custo. Isto posto, podemos concluir que para melhorar o valor do produto nacional, entre outros aspectos que não são o escopo desta análise, precisamos de invenções⁴ e inovações⁵, justamente o tipo de produto para os quais os Institutos Federais devem

direcionar seus esforços, a produção de pesquisa aplicada (PDI – IFSP 2009-2013). Mas como nossos pesquisadores se alimentam de informações para o enfrentamento deste problema? De quais ferramentas se utilizam para o levantamento de dados e

3 O processador Core I7 utiliza diversos outros materiais, mas todos eles infinitamente mais baratos que o processador.

4 É a concepção de nova ideia ou conhecimento sobre produtos e processos, que podem chegar ao sistema produtivo.

5 É a incorporação de novos conhecimentos à cadeia produtiva.

como escolhem seus objetos de pesquisa? O questionário apresentado a seguir, além da qualificação do profissional, pergunta sobre as fontes de pesquisa e sobre o conhecimento de alguns elementos de propriedade intelectual.

razão do questionamento. Os professores foram escolhidos ao acaso, o pesquisador foi abordando os professores à medida que os encontrava nas dependências do Instituto em Cubatão e em São Paulo, o que conferiu

Questionário anônimo.

Qual sua titulação?: _____ Data do grau: _____ Área de concentração: _____

1. Quais são suas principais fontes de consulta científicas e tecnológicas?

2. O que você conhece sobre patentes? Para que servem?

3. O que você conhece sobre o INPI?

9 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS

Este estudo se valeu de instrumentos de análise da pesquisa qualitativa, largamente utilizados em estudos da Educação. Nesta perspectiva, a observação, a palavra e a imersão são elementos de grande importância para a obtenção dos resultados (BOGDAN, 1994). O pesquisador faz parte do quadro de funcionários da instituição, o que lhe proporcionou oportunidade de participar e presenciar um grande número de situações que vão tornando clara a cultura local.

Para enfrentar este problema, apresentou-se o questionário acima a 45 professores do Instituto Federal de São Paulo, dos *campi* de Cubatão e São Paulo, atuantes em diversas áreas do conhecimento e com diversos graus de qualificação e experiência. Os questionários não foram enviados por *e-mail*. Eles foram entregues a cada professor pessoalmente pelo pesquisador, que lhes solicitou o preenchimento e informou a

uma variedade significativa à amostra. O pesquisador só aceitou respostas mediatas, solicitação que praticamente não enfrentou objeções, e cada informante respondeu ao questionário assim que o recebeu. Não houve qualquer seleção prévia, de modo que a área, função ou cargo, gênero ou qualquer outra orientação pudesse ser levada em conta. O pesquisador pretendeu com isso obter o melhor retrato do professorado e ainda evitar contaminações que pudessem incidir nas respostas em função de conversas e/ou pesquisas de qualquer tipo sobre o assunto em questão. Este procedimento procurou garantir que as respostas refletissem apenas o que cada um pudesse fazer naquele momento e o pesquisador não esclareceu qualquer dúvida antes de ter o documento preenchido. De posse dos documentos, que já determinavam dimensões *a priori*, “as fontes de pesquisa, o conhecimento sobre as patentes e sobre o INPI”, construíram-se as categorias abaixo, suficientes para reunir toda a informação oferecida pelos professores.

Tabela 2 - Dimensões e categorias construídas a partir dos questionários

Dimensões	nº	Descrição das categorias
Fontes de pesquisa: (D1)	0	O pesquisador usa fontes tradicionais do mundo acadêmico de sua área: livros, revistas, teses e dissertações, periódicos e participa de congressos.
Conhecimento sobre patentes: (D2)	0	O pesquisador diz que não sabe quase nada.
	1	O pesquisador sabe que serve para proteger os direitos do inventor contra cópias ilegais.
	2	O pesquisador diz que tem algum conhecimento e que já pesquisou patentes em bases nacionais e internacionais.
Conhecimento sobre o INPI: (D3)	0	O pesquisador diz que não sabe quase nada – às vezes só o nome.
	1	O pesquisador sabe que é um órgão que protege os direitos do autor/criador sobre a sua invenção, para que um terceiro não explore sem pagamento de contrapartida.

A amostra aleatória apresentou a seguinte distribuição dos professores: 9 doutores, 17 mestres, 16 especialistas e 3 graduados, atuando nas seguintes áreas: Engenharias Elétrica, Eletrônica, Automação Industrial, Computação, Materiais, além das de Usinagem e Civil; Gestão, Administração, Saneamento Ambiental, Modelagem, Ensino de Física, Informática, Tecnologia da Informação, Direito, Inglês, Português, Computação Gráfica, Espanhol, Filosofia, Matemática, Linguística, Literatura, Biologia. As respostas, classificadas segundo as categorias da tabela 2, estão organizadas numa nova tabela abaixo que deixa ver a quantidade de respostas que cada grupo apresentou para cada questão.

Tabela 3 - Discriminação dos professores por titulação e suas respostas

Titulação	Quantidade	Fontes (D1)			Patentes (D2)			INPI (D3)	
		0	1	2	0	1	2	0	1
<i>n</i> ^o		0	1	2	0	1	2	0	1
Doutores	09	0	2	6	1	8	1		
Mestres	17	0	5	11	1	10	7		
Especialistas	16	0	5	10	1	11	5		
Graduados	03	0	1	1	1	3	0		

É mais que evidente que os professores trazem para o trabalho a cultura de suas origens. A universidade tradicional conhece bem e utiliza com regularidade os *papers*, os congressos, os livros e a WEB para divulgar e pesquisar sobre o estado da arte em cada área. É uma resposta quase unânime. Outro ponto a se notar é a distribuição equilibrada de conhecimento – pouco importa o grupo de titulação. Cerca de 20% dos doutores e 30% de mestres, especialistas e graduados, afirmam não saber nada sobre patentes, enquanto que cerca de 60% de doutores, mestres e especialistas se referem a elas apenas como um instrumento de garantia de direitos do inventor. Já o INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) é quase um desconhecido dos professores. Cerca de 85% dos doutores, 60% dos mestres e especialistas e todos os graduados dizem não saber nada sobre o INPI. Um aspecto importante a ressaltar é a data da maior titulação. Os doutores da amostra se distribuem entre 2003 e 2010, os mestres entre 1986 e 2010, e os especialistas entre 1985 e 2008, e vale lembrar que diversos mestres estão em programas de doutoramento e diversos

especialistas em programas de mestrado, e, ainda assim, para titulados novos ou velhos, ou mesmo em processo de titulação, a propriedade intelectual não faz parte de sua formação.

9 CONCLUSÕES

Esta amostra revela que o professorado do IFSP⁶ tem uma constituição típica de universidade e procedimentos de estudo e pesquisa identificados com estas tradicionais instituições, o que de certa forma explica o desconhecimento generalizado dos elementos de propriedade intelectual. Eles conhecem e utilizam estes mecanismos tradicionais, mas

eles são pouco adequados à nova meta dos Institutos Federais, que se prende à produção de conhecimento estreitamente ligado à criação de soluções para sociedade. Os institutos devem se desenvolver na área da pesquisa aplicada, atendendo aos setores produtivos com soluções tecnológicas e com pessoal altamente qualificado, como forma de incrementar o valor do produto nacional.

Parece uma meta viável, uma vez que os institutos veem experimentando um grande crescimento, numa capilaridade que os tornam presentes em praticamente todo o território nacional, o que coloca estes centros de pesquisa e inovação, afeitos à economia de cada localidade, bem próximos dos atores produtivos e de seus problemas. Mas uma dificuldade deve ser enfrentada, devemos trabalhar para implantar uma nova cultura, diferente da cultura da Universidade, onde o que conta é a publicação. Devemos trabalhar pela cultura da propriedade intelectual, uma cultura em que a publicação não é o maior objetivo. Devemos publicar, mas antes da publicação

6 Considerando que a origem dos profissionais do IFSP é quase sempre a Universidade tradicional brasileira.

vem a proteção dos direitos sobre a criação. Esta nova cultura deve ir transformando o ambiente dos institutos para que as possibilidades sejam reconhecidas e aproveitadas, essa cultura deve se tornar lugar comum e permear todo o processo de pesquisa e de ensino, de forma a imprimir este novo caráter também nos profissionais formados pela instituição.

Nessa nova cultura, a propriedade intelectual deve fazer parte dos conhecimentos objetivos dos professores de todas as áreas e devem ser oferecidos desde o início aos alunos. Num ambiente assim os direitos de autor e as marcas devem fazer parte do dia a dia, e o sistema de patentes não deve ser o único, mas deve ser a principal fonte de consulta dos pesquisadores em tecnologia, uma vez que cerca de 70% das informações tecnológicas só aparecem neste sistema, que ele oferece o estado da técnica e informações suficientes para que a solução seja replicada e ainda permite saber o que já está em domínio público, que evita que se invente o já existente, documentado e protegido, e ainda permite detectar tendências tecnológicas, colocando o trabalho do pesquisador num patamar mais seguro, certamente poupando tempo, talento e recursos necessários para a produção de conhecimento verdadeiramente novo, capaz de gerar direitos.

REFERÊNCIAS

- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. *Investigação qualitativa em educação*, Porto, Portugal: Ed. Porto, 1994.
- CÓDIGO CIVIL BRASILEIRO. *Lei 10406 de 10 de janeiro de 2002*.
- CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1988.
- CONVENÇÃO DE BERNA. *Convenção para a Proteção das Obras Literárias e Artísticas*, 1886.
- CONVENÇÃO DE ROMA. *Convenção Internacional para Proteção aos Artistas*
- Intérpretes ou Executantes, aos Produtores de Fonogramas e aos Organismos de Radiodifusão*, 1961.
- LOSSO, M. E. F. *Noções de direito autoral e sua regulamentação internacional*. Disponível em: <<http://www.wipo.int/about-wipo/em/overview.html>>.
- NEGRI, F. *Conteúdo tecnológico do comércio exterior brasileiro: o papel das empresas estrangeiras*. Brasília: IPEA, mar. 2005. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1074.pdf>.
- NETO, N. D. A. Direito de Patente: o processo histórico de desenvolvimento do direito patentário e sua dialética relação com a propriedade. *Jus Navigandi*, Teresina, ano 15, n. 2572, 17 jul. 2010. Disponível em: <<http://jus.uol.com.br/revista/texto/16992>>. Acesso em: 5 set. 2010.
- O GLOBO.COM. *Rio tinto vai cortar o preço do minério de ferro em 13%*. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/mat/2010/09/08/rio-tinto-vai-cortar-preco-de-minerio-de-ferro-em-13-917580066.asp>>. Acesso em: 08/09/2010.
- OLIVEIRA, Á. B. Uma definição de propriedade. Fortaleza: *Revista Pensar*, v. 13, n. 1, p. 48-56, jan./jun. 2008.
- PDIIFSP. *Plano de desenvolvimento institucional 2009 – 2013*. Disponível no site do IFSP.
- REIS, J. B. A. O conceito de tecnologia e tecnologia educacional para alunos do ensino médio e superior. Anais do XVII COLE. *Congresso de Leitura do Brasil*, 20 a 24 de julho de 2009, Campinas: Unicamp.
- SOFTCOMEX.COM. *Importações de chapa grossa de aço incomoda BNDES*. Disponível em: <http://www.softcomex.com.br/noticias/index.php?option=com_k2&view=item&id=1457:importa%C3%A7%C3%A3o-de-chapa-grossa-de-a%C3%A7o-incomoda-bndes>. Acesso em: 08/09/2010.

IMPLEMENTAÇÃO DIRETA DE UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL EM HARDWARE E SUA APLICABILIDADE NO RECONHECIMENTO DE PADRÕES PARA SEPARAÇÃO DE FRUTAS

Miguel Angelo de Abreu de Sousa¹
Thiago Felipe de Jesus Torres²

Um modelo computacional tradicional emprega, geralmente, um único e rápido processador encarregado de operar os dados do sistema. Redes Neurais Artificiais são modelos computacionais que apresentam um novo paradigma: de inspiração biológica, procuram se aproximar da forma de trabalho das células neurológicas, nas quais a informação é operada em paralelo e à baixa velocidade. Esta forma de trabalho fornece algumas características únicas às redes neurais, tais como possibilidade de aprendizado pela experiência, capacidade de generalização e tolerância a falhas. Entretanto, é comum a utilização de tais redes apenas simuladas em computador. O presente trabalho descreve a implementação direta de uma rede neural artificial em um tipo de circuito digital chamado FPGA. A rede desenvolvida é aplicada à prática de reconhecimento de padrões na distinção entre maçãs e peras, e seu desempenho é comparado a um trabalho anterior desenvolvido com componentes analógicos.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. FPGA. Reconhecimento de padrões.

A traditional computational model usually employs a single and fast processor, which is in charge of the system data operation. Artificial Neural Networks are computational models which introduce a new paradigm: biological inspired, they attempt to reproduce the way neurological cells work, by processing information in parallel and at low velocity rates. Such new paradigm provides unique characteristics, such as learning by experience, generalization capability and fault tolerance. However, neural networks are commonly used in computer simulation. The present work innovates by introducing the direct implementation of an artificial neural network in FPGA digital circuit. The developed project is applied to pattern recognition between apples and pears, and its performance is compared to a previous work built with analogical components.

Keywords: Artificial Neural Networks. FPGA. Pattern recognition.

1 INTRODUÇÃO

Dentro da área de pesquisa da Inteligência Artificial há dois modelos diferentes de estudos: o primeiro, chamado de abordagem *top down*, procura especificar detalhadamente todas as condições lógicas necessárias para que o sistema em questão apresente um comportamento inteligente;

o segundo modelo, chamado de *bottom up*, é uma abordagem fortemente inspirada na biologia, que procura especificar a arquitetura de sistemas flexíveis e expô-los aos ambientes nos quais estão inseridos para que, na troca de informações com o mundo externo, estes sejam capazes de alterar sua estrutura flexível no intuito de serem mais adaptados ao ambiente. Tal adaptabilidade às condições

1 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo *Campus* São Paulo - Mestre em Engenharia Elétrica pela USP.
E-mail: <angelo@ifsp.edu.br>.

2 Aluno de iniciação científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo *Campus* São Paulo.
E-mail: <felipemenichini@hotmail.com>.

externas pode ser entendido como um comportamento inteligente (BROOKS, 1991).

As redes neurais artificiais se encaixam nesse segundo modelo, pois seu comportamento não é planejado de forma estrita por seu projetista, ao invés disso, é determinado por experiências anteriores com estímulos de entrada semelhantes, processo este chamado de treinamento da rede (SILVA, 2010).

Essa nova abordagem tem permitido aos engenheiros e cientistas o tratamento de diversos problemas ligados às Ciências Aplicadas com bastante sucesso. Podem-se citar alguns exemplos na área de Controle de Processos, como o trabalho de CHO et al. (2006) que utiliza um tipo de rede neural para conduzir veículos aéreos não tripulados baseado na informação coletada pelo seu conjunto sensor, ou o trabalho de ZHANG e STANLEY (1999) que controla o tipo de produto químico a ser adicionado à água durante seu processo de tratamento também utilizando uma rede neural com resposta em tempo real às variações desse processo. Na área de Reconhecimento de Padrões também se podem citar alguns trabalhos que empregaram redes neurais artificiais, como a detecção de regiões de interesse astronômico baseado nas informações coletadas por satélites (YOUNG et al., 2007), ou a identificação de espécies de morcegos em função de seus sinais sonares de localização (PARSONS & JONES, 2000).

A aplicação desenvolvida no presente trabalho pode ser classificada como pertencente à área de Automação Agrícola, pois utiliza uma rede neural artificial, conectada a um elemento sensor, para distinguir maçãs de peras. Entretanto, diferente de outras aplicações, a rede é implementada diretamente em *hardware* em contraponto aos desenvolvimentos mais frequentes, nos quais a rede é apenas simulada em *software*. O circuito digital escolhido para tal implementação é um *chip* configurável chamado FPGA e esta implementação direta permite que o projeto desenvolvido tenha menores dimensões e maior economia de energia, características

essenciais para sistemas portáteis, e que os cálculos internos da rede neural sejam realizados em paralelo, possibilitando uma maior velocidade de resposta do sistema (OMONDI & RAJAPAKSE, 2006).

2 FUNDAMENTAÇÃO

A seguir, apresenta-se uma pequena revisão das bases teóricas em que o projeto está sustentado, a fim de prover a fundamentação necessária para a sequência do presente trabalho.

2.1 Redes Neurais Naturais

O cérebro humano é constituído por bilhões de neurônios interconectados entre si. Cada neurônio está apto a receber e transmitir sinais, e a rede de interligação desses impulsos é organizada através de trilhões de conexões chamadas sinapses, de tal forma a capacitar o cérebro para, por exemplo, armazenar informações complexas e utilizá-las em situações futuras, perceber sensações, como o calor e a dor, experimentar diferentes sentimentos ou tomar uma decisão simples de forma instantânea.

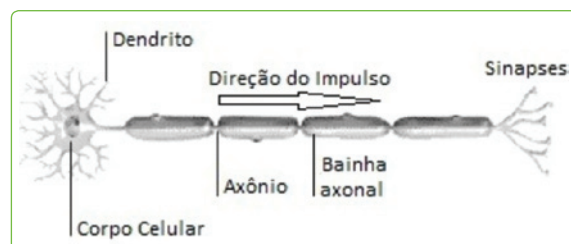


Figura 1 - Neurônio Biológico

Para melhor compreender o funcionamento de um neurônio biológico (figura 1) pode-se subdividi-lo em partes, iniciando pelos dendritos (que podem ser entendidos como os pontos de entrada do neurônio), os quais são responsáveis por receber a informação vinda de outros neurônios. A informação recebida pelos dendritos é trabalhada em seu núcleo e o sinal resultante é transmitido ao axônio (que pode ser entendido como o ponto

de saída do neurônio), cuja finalidade é enviar o sinal às próximas células nervosas. Com o auxílio da bainha axonal, a informação é impulsionada em uma direção distinta da que foi recebida e, ao final dos terminais neurológicos, esta é ramificada e atinge milhares de outros neurônios. As conexões realizadas entre os neurônios são chamadas de sinapses.

Além de realizar a interligação neurológica, a principal função da sinapse é estabelecer a transmissão ou barrar o envio dos estímulos providos pelos axônios.

2.2 Redes Neurais Artificiais

Semelhantes às redes neurais naturais, as redes neurais artificiais são compostas por grupos de neurônios artificiais. Os dendritos dos neurônios biológicos são denominados simplesmente como entradas nestes neurônios (figura 2) e, assim como na representação biológica, tais entradas podem receber informações da saída de outros neurônios ou diretamente de dispositivos externos à rede como, por exemplo, elementos sensores.

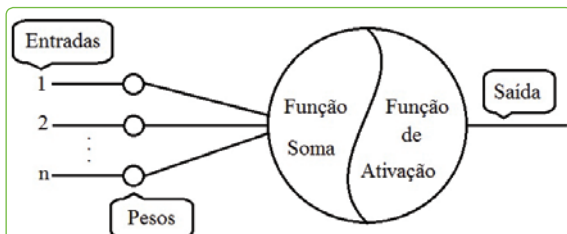


Figura 2 - Neurônio Artificial (Perceptron)

Os sinais de entrada são ponderados pelo peso de sua conexão, que representa o controle estabelecido pelas sinapses. Tal ponderação é feita através da multiplicação do valor da entrada pelo peso da conexão, de forma a alterar consideravelmente o valor assumido pelo sinal e sua participação na lógica do sistema. Assim, cada conexão já filtrada por seu peso adentra ao núcleo e participa da somatória com as demais entradas, executada no neurônio artificial pela função soma. Após essa operação, a

informação terá um valor definido, o qual será submetido a uma função de ativação, determinando o limiar de disparo da saída do neurônio, representando a função dos axônios dos neurônios naturais.

Desta forma, pode-se entender a definição de que as redes neurais artificiais são técnicas matemáticas baseadas na teoria dos organismos inteligentes que contêm unidades lógicas chamadas neurônios, as quais se comunicam através de conexões, fazendo operações locais através das informações vindas em suas entradas. O seu comportamento inteligente está associado ao encadeamento de unidades de processamento que acumulam conhecimento através do treinamento da rede.

O processo de treinamento de uma rede neural artificial é feito de forma semelhante ao de uma rede neural natural. São apresentadas à rede diversas amostras dos parâmetros de entrada juntamente com o parâmetro de saída desejado, de modo a representar parte do conjunto de sua aplicação. Quanto mais representativo for o número de exemplos, melhor será o processo de treinamento, o que aumentará a capacidade de reconhecimento, pela rede, do padrão definido. Este procedimento, também chamado de aprendizagem, é o processo mais empregado para o treinamento das redes neurais.

2.2.1 Perceptron

Perceptron é uma rede neural artificial formada por apenas uma unidade de processamento (um neurônio) semelhante ao apresentado na figura 2. Sua grande importância é estabelecer base às diversas outras redes existentes e, por sua simplicidade, tende a permitir uma rápida resposta no processamento dos sinais. A limitação desta rede neural encontra-se em processar problemas de conjuntos linearmente separáveis (figura 3), isto é, conjuntos que possuam uma região de fronteira entre ambas as classes capaz de ser delimitada por uma reta.

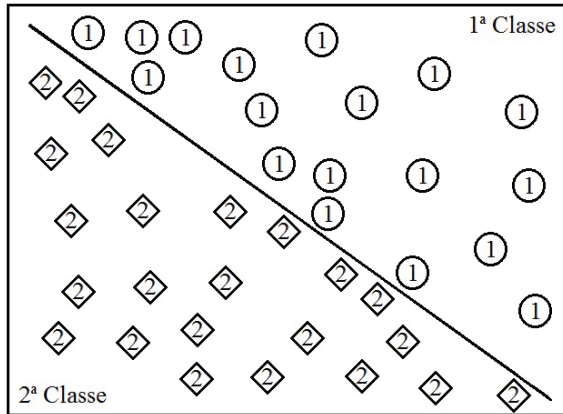


Figura 3 - Conjunto Linearmente Separável

O treinamento da rede Perceptron é iniciado apresentando em sua entrada exemplos dos dois grupos de trabalho. Esta informação é mesclada a outra, a qual aponta a que classe cada um desses exemplos pertence. Os dois grupos devem conter características distintas para possibilitar que a rede diferencie suas classes.

Após adquirir o conjunto de treinamento formado por grupos de entradas e saídas, o processo de aprendizagem utiliza um algoritmo proposto por Rosembant (1958), que tende a encontrar blocos de pesos para definir uma reta ideal de separação das duas classes.

Os itens apresentados à rede no momento do aprendizado devem ser escolhidos de forma a apresentar as variedades que podem assumir as classes no momento do reconhecimento para que a rede tenha, futuramente, o poder de classificar um item novo pertencente a uma das duas classes de sua aplicação, mesmo que este não pertença ao grupo utilizado no processo de ensaio.

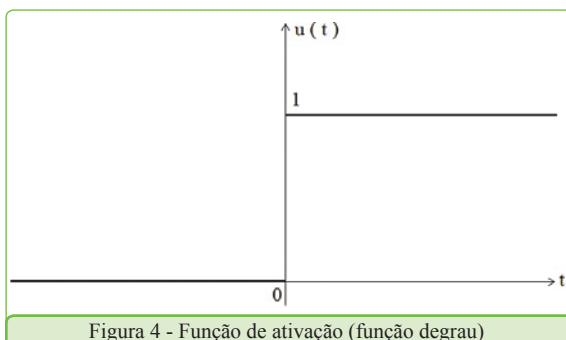


Figura 4 - Função de ativação (função degrau)

A função de ativação normalmente utilizada pela rede perceptron é a função degrau (figura 4). Esta função realiza a seguinte operação: se a somatória dos valores ponderados de entrada gerar valores maiores que zero, o neurônio é dito ativado, ou seja, é enviado à saída da função de ativação o valor '1'; se a somatória gerar valores menores ou iguais a zero, o neurônio é dito inativo, indicado pelo valor '0' em sua saída. Estes números representam a que classe o objeto apresentado à rede pertence.

No campo de estudos sobre redes neurais artificiais há diversos tipos de redes, como, por exemplo, a MLP (Multi-Layer Perceptron), obtida pelo encadeamento de neurônios, ou a rede de Hopfield, que utiliza seu valor de saída novamente como entrada através de um processo de realimentação. Tais redes podem trabalhar com outras funções de ativação, que apresentam valores intermediários de saída entre '0' e '1', porém a descrição dessas redes foge ao escopo do presente trabalho.

2.3 Hardwares Digitais

Este capítulo apresenta os fundamentos relacionados ao *hardware* escolhido para a implementação da rede neural.

2.3.1 Hardwares Estáticos e Reconfiguráveis

Os *hardwares* estáticos são dispositivos eletrônicos que não possibilitam alteração de suas características internas em estado final, como, por exemplo, circuitos integrados de aplicações específicas (ASIC) utilizados em celulares.

Os ASICs (*Applications-Specific Integrated Circuits*) passam por um processo demorado de elaboração e sua estrutura final é fixada em uma pastilha de silício, provocando a desvantagem de que, para ser modificado, é necessária a fabricação de um novo dispositivo.

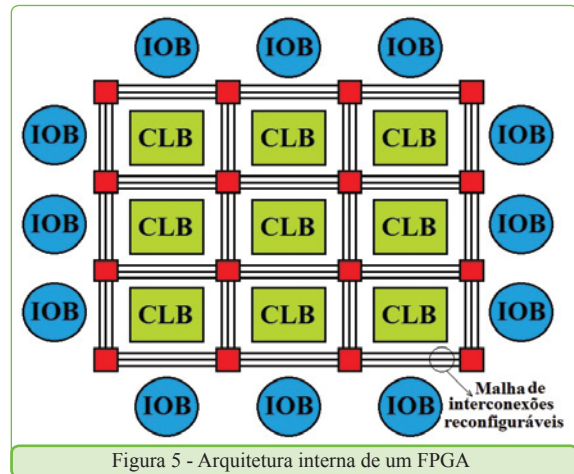
Os *hardwares* reconfiguráveis diferem-se dos estáticos pela flexibilidade de alterar sua arquitetura interna em tempo real,

processo feito com o circuito energizado e via *software*. Durante esta última década, diversos projetos adotaram *chips* reconfiguráveis (PLD/FPGA) para os mais diversos tipos de aplicações.

Os PLDs (*Programmable Logic Devices*) constituem um conjunto de microcélulas conectadas que se comportam como portas lógicas, que, através de uma linguagem de programação, organizam-se para desenvolver pequenos projetos digitais. Os PLDs, apesar de serem reconfiguráveis e flexíveis quando comparados aos ASICs, são constituídos internamente por um limitado número de portas lógicas. FPGAs podem ser entendidos como um ponto intermediário entre essas duas tecnologias, possuem a flexibilidade de reconfiguração e a capacidade de implementação de grandes e complexos projetos que antes só poderiam ser feitos utilizando os ASICs.

2.3.2 FPGA

FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays*) são circuitos integrados digitais que contêm blocos lógicos reprogramáveis chamados de CLBs (*Configuration Logical Blocks*). O CLB tem a propriedade de reorganização interna, característica que permite mobilidade na definição de seu comportamento, o que difere o FPGA de um PLD, pois as células deste já possuem uma prévia definição de qual lógica pode ser implementada. Cada CLB é subdividido em quatro partes nomeadas SLICES que, por sua vez, possuem duas *Look-Up Tables* (LUTs). As LUTs são responsáveis pela versatilidade do FPGA, pois nelas são armazenadas as tabelas que especificam o modo como o projeto funcionará. Pode-se dizer que o FPGA opera de forma que, ao programar-se nele uma série de tabelas com informações de correspondência entre entradas e saídas, configura-se seu comportamento para um projeto específico. Essa programação é realizada por meio de uma linguagem de programação de *hardware* (HDL) para descrever o funcionamento da aplicação desejada. As duas linguagens HDL mais utilizadas são: VHDL e Verilog. A arquitetura interna de um FPGA pode ser vista na figura 5.

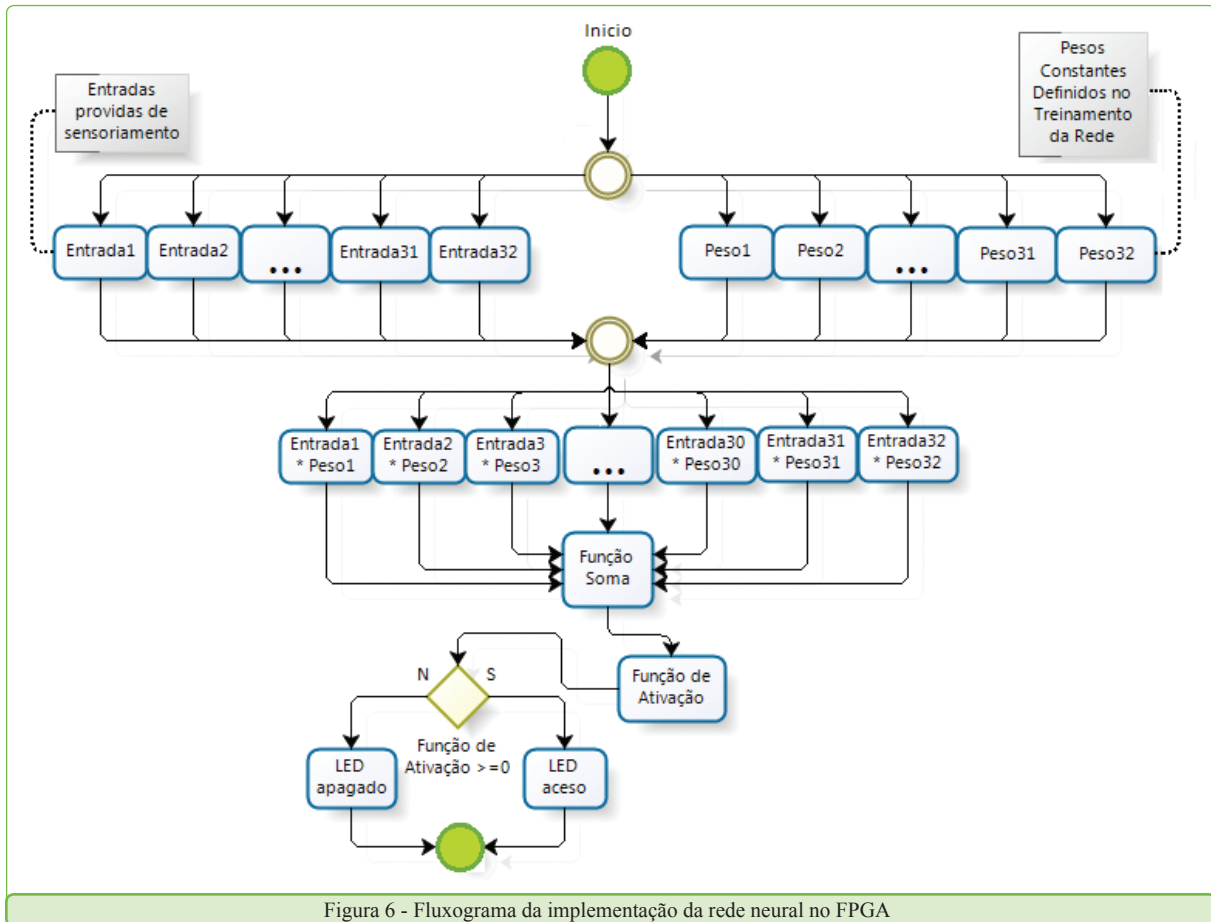


Com o auxílio das malhas de interconexões reconfiguráveis do FPGA, pode-se interligar a lógica do sistema, ou seja, realizar conexões entre CLBs e conexões de CLBs com IOBs. Os IOBs (*In/Out blocks*) são blocos de entradas e saídas utilizados para comunicação com os pinos externos à lógica do circuito integrado.

Ressalta-se que o FPGA permite a elaboração de circuitos paralelos, ou seja, uma parte de sua estrutura interna pode executar um trabalho de forma independente de outra parte da mesma estrutura. Tal característica possibilita sintetizar redes neurais artificiais coincidentes com a teoria inicialmente proposta de processamento distribuído das informações.

3 PROJETO

O projeto descrito neste trabalho implementa uma rede neural artificial do tipo Perceptron com função de ativação do tipo degrau. Por estar sintetizada diretamente em um dispositivo FPGA, a rede implementada tem a capacidade de receber informações providas por diversas entradas e trabalhar com todas de uma forma paralela, possuindo ainda a mobilidade de alteração de suas características internas via *software*. Após executar o processo de reconhecimento, a rede informa a que classe o padrão apresentado pertence através da ativação ou desativação de um LED de saída. O fluxograma do tratamento das informações é apresentado na figura 6.



3.1 APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

A aplicação prática deste projeto é uma continuação do trabalho realizado por SOUSA (2009), que utilizou circuitos analógicos para desenvolver uma rede neural artificial do tipo Perceptron com vinte entradas. Tal rede analógica foi aplicada para o reconhecimento de frutas, mais especificamente, a distinção entre peras e maçãs, e obteve uma taxa de aproximadamente 80% de reconhecimentos corretos.

Em tal projeto, o reconhecimento das frutas foi realizado através de seu formato. Para admitir tal adaptação à rede neural analógica, utilizou-se um dispositivo sensor de dimensão cúbica (figura 7), o qual, em uma de suas faces, possui 20 emissores de luz (LEDs infravermelhos) e, na face oposta, 20 receptores de luz (fototransistores). Ao se depositar as frutas

nesse recipiente, alguns fototransistores cessam de receber a iluminação emitida pelos LEDs, especificando a informação do formato da fruta inserida. Uma das dificuldades obtidas na implementação da rede neural analógica original foi a baixa precisão no ajuste dos valores de pesos, fato que motivou a continuação do projeto para uma implementação da rede sob a forma digital. Para efeito de comparação, o presente projeto iniciou a aplicação com o mesmo dispositivo sensor de 20 entradas e mesmo conjunto de pesos de conexão da rede neural elaborada em SOUSA (2009), e obteve um aumento de aproximadamente 10% na taxa de acerto de identificação das frutas em relação ao circuito analógico. Tal aumento da taxa de reconhecimento deve-se à maior precisão no ajuste dos valores de pesos da rede, característica proporcionada pelo circuito digital.

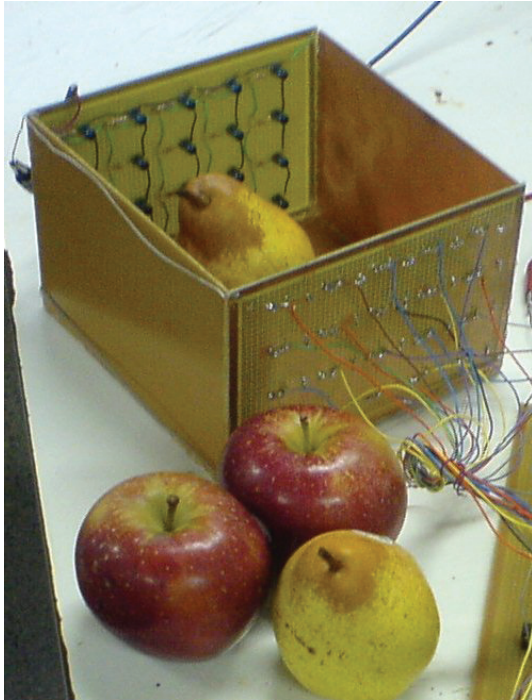


Figura 7 - Dispositivo Sensor

Com o objetivo de continuar aumentando a taxa de reconhecimentos corretos, aumentou-se também o número do conjunto de emissores e receptores do dispositivo sensor. Sendo assim, um novo dispositivo foi criado com as mesmas características do antecessor, apenas adicionando outras 12 combinações de LEDs e fototransistores, totalizando 32 elementos sensores.

O FPGA disponível para sintetizar a rede neural é o Spartan 3 do fabricante Xilinx e está compacto em uma placa denominada Basys 2. Esta placa está apta a receber e enviar sinais externos através de 16 pinos. Como é necessário o envio para o *chip* de 32 entradas da rede neural artificial, desenvolveu-se um multiplexador para possibilitar o uso do novo recipiente.

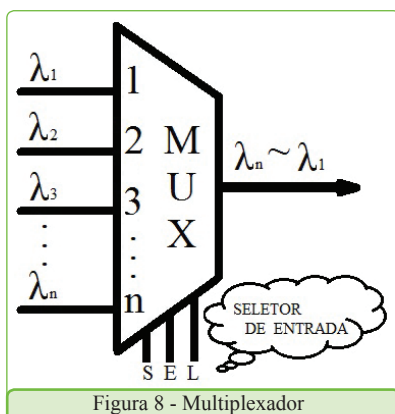


Figura 8 - Multiplexador

O multiplexador (MUX) é um dispositivo eletrônico divisor de fluxos de dados utilizado para transmitir sinais paralelos em uma única linha (figura 8). Para realizar esse enfileiramento de dados há um seletor que indica qual informação deve ser enviada, de forma que, em cada intervalo de tempo, um dos dados de entrada ($\lambda_1 \sim \lambda_n$) é transmitido para a saída. O multiplex utilizado na presente aplicação é constituído de quatro Circuitos Integrados 74244 (figura 9).

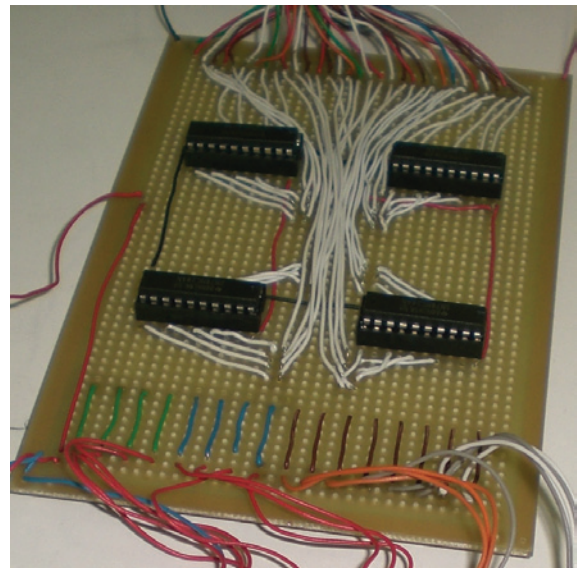


Figura 9 - Circuito Multiplexador

Cada *chip* recebe 8 saídas do dispositivo sensor e *retransmite* a informação quando selecionado pelo sinal de controle enviado pelo FPGA. Assim, cada um dos quatro *chips* é acionado por vez, transmitindo à rede neural 8 sinais de entradas, de forma a totalizar as 32 entradas necessárias para início do processo de reconhecimento.

Para fornecer uma visão completa do projeto elaborado, a figura 10 apresenta o diagrama de blocos do sistema. Nesta figura pode-se perceber o processo de transferência das 32 saídas do dispositivo sensor para o MUX, e o envio dos sinais deste ao FPGA, segundo o comando recebido através da via de controle. O projeto utiliza uma fonte de alimentação que fornece energia para os elementos que compõem o sistema e a saída é apresentada no LED (aceso para maçãs e apagado para peras).

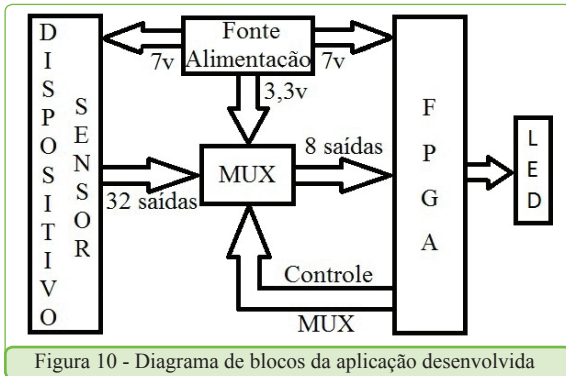


Figura 10 - Diagrama de blocos da aplicação desenvolvida

3.2 Resultados Obtidos

Com a rede neural conectada via MUX ao dispositivo sensor de 32 elementos, realizou-se um novo processo de aprendizado. Este treinamento utilizou 100 amostras dos parâmetros da aplicação, ou seja, maçãs e peras posicionadas em diferentes pontos do recipiente sensor, e obteve, no processo de operação, um índice de acerto de 96,11% no reconhecimento de 480 amostras, compostas por frutas distintas das que foram utilizadas durante a fase de aprendizagem.

O projeto elaborado possui um total de ocupação de 14% das LUTs do FPGA utilizado e permite que o dispositivo opere nesta aplicação a uma frequência de até

261,097MHz com todos os seus cálculos sendo realizados em paralelo.

A figura 11 contém uma foto de todos os elementos do projeto interligados e um vídeo que ilustra o processo de reconhecimento da rede neural está disponível na página do *blog* Redes Neurais IFSP ou diretamente na página do *site youtube* (ver endereços no capítulo de Referências).

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a implementação de uma rede neural artificial do tipo Perceptron em *hardware*, mais especificamente em um circuito digital chamado FPGA. Tal implementação feita diretamente em circuito, em contraponto à forma tradicional de utilização de redes neurais, que empregam simulações em *software*, permite que todas as operações matemáticas executadas pela rede sejam feitas em paralelo, fato que a assemelha mais com as propostas teóricas iniciais das redes neurais artificiais e possibilita alcançar maiores frequências de operação. Além disso, permite que o dispositivo seja de pequenas dimensões e possua menor consumo de energia,

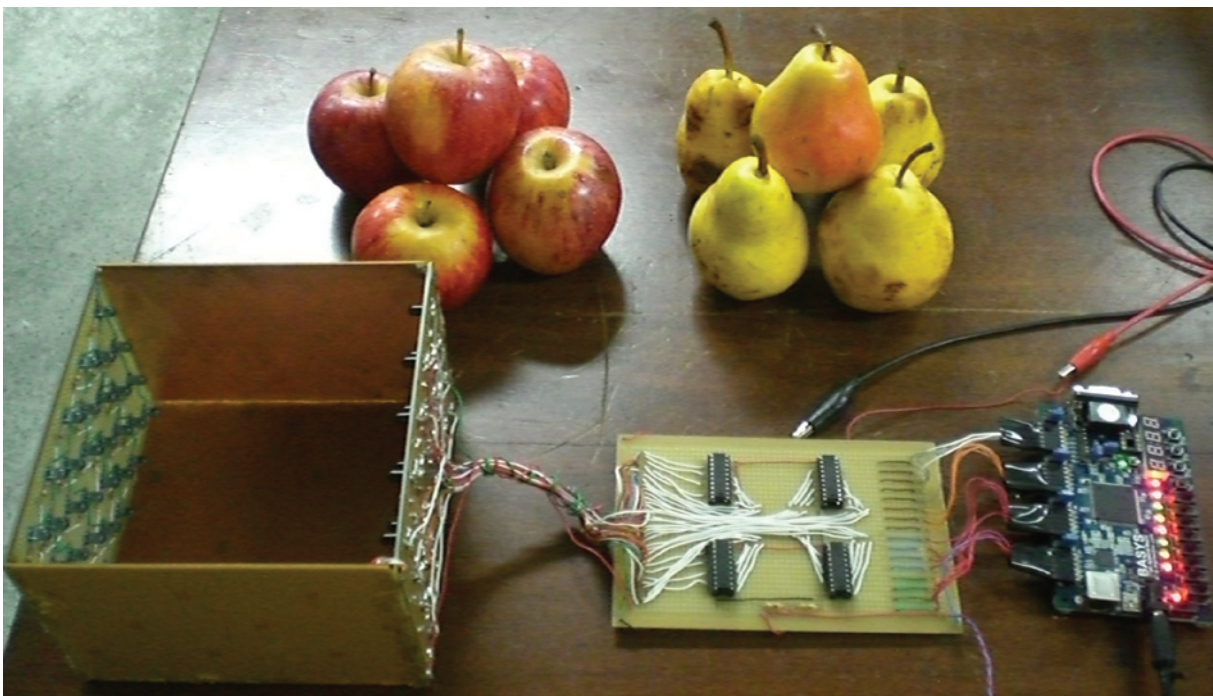


Figura 11 - Dispositivo sensor, multiplexador e Rede Neural Artificial implementada em FPGA

fatores necessários em aplicações móveis. A rede desenvolvida, conectada a um dispositivo sensor, foi empregada no reconhecimento de padrões para distinção entre maçãs e peras, dando continuidade a uma implementação anterior feita com circuitos analógicos, e obteve uma taxa de 96,11% de acertos no reconhecimento de frutas novas, ou seja, frutas diferentes das utilizadas no conjunto de treinamento, fato que indica a capacidade de generalização da rede construída. Por último, a pequena taxa de ocupação do FPGA nesta aplicação, 14%, encoraja novos e maiores desenvolvimentos.

REFERÊNCIAS

- BROOKS, R.A. Intelligence without reason. Sidney: *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, p. 569–595, 1991.
- CHO, J. et al. Modeling and inverse controller design for an unmanned aerial vehicle based on self-organizing map. *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 17, n. 2, p. 445-460, 2006.
- OMONDI, A. R.; RAJAPAKSE, J. C. *FPGA Implementations of Neural Networks*. Dordrecht: Springer, 2006.
- PARSONS, S.; JONES, G. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discrimination function analysis and artificial neural networks. *Journal of experimental biology*, vol. 203, p. 2641-2656, 2000.
- REDES NEURAIIS IFSP. Disponível em: <<http://redesneuraisifsp.blogspot.com/p/rna2009.html>>. Acesso em: 25 mai. 2011.
- ROSENBLANT, F. The Perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in brain. *Psychological Review*, vol. 65, p. 386-408, 1958.
- SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. *Redes neurais artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas*. São Paulo: Artliber, 2010.
- SOUSA, M. A. S. Projeto e construção de um circuito elétrico para a execução de redes neurais artificiais utilizando componentes eletrônicos de baixo custo. São Paulo: *Sinergia*, vol. 10, n. 1, p. 72-79, 2009.
- YOUNG, R. J. et al. Comparison of adaptive resonance theory neural networks for astronomical region of interest detection and noise characterization. Albuquerque: *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, p. 2123-2128, 2007.
- YOUTUBE: Reconhecimento de frutas com rede neural implementada em FPGA. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=chNXBcd2QNY>>. Acesso em: 25. mai. 2011.
- ZHANG, Q.; STANLEY, S. J. Real-time water treatment process control with artificial neural networks. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 125, n. 2, p. 153-160, 1999.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROCESSO DE VAZAMENTO E DE SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA CU-5%ZN EM UM MOLDE PERMANENTE

Moisés Meza Pariona¹

Siliane Machado²

Noé Cheung³

Neste trabalho foi realizada a simulação numérica, baseada no método dos elementos finitos, do processo de vazamento e solidificação de uma liga Cu-5%Zn em um molde permanente de aço. A simulação do processo de vazamento utilizou o software ANSYS-FLOTRAN (ANSYS-FLOTRAN versão 9, ANSYS Inc, Canonsburg, Estados Unidos), admitindo condições atmosféricas e influência da gravidade, e o vazamento do metal líquido em um molde de aço foi realizado através do canal de alimentação. Nesta análise também foi incorporado o modelo New k-ε que considera o fenômeno da turbulência. As propriedades termofísicas, tanto para a liga quanto para o molde, foram consideradas em função da temperatura para o processo de solidificação. A simulação da solidificação levou em conta a análise de três formas de liberação de calor latente: linear, exponencial (Scheil) e senoidal em função da fração sólida. Os seguintes resultados foram obtidos: campos de velocidade, de distribuição de temperaturas e de pressão durante o preenchimento do molde; campo térmico e curvas de resfriamento no metal e no molde durante a solidificação. A simulação numérica apresenta a vantagem de analisar diversos fenômenos presentes no processo de vazamento e na solidificação, o que não é trivial pela visualização experimental.

Palavras-chave: Método dos Elementos Finitos. Vazamento no molde. Solidificação. Liga Cu-5%Zn.

Based on the finite element method, simulations of mold filling and solidification processes were performed in this work for casting a Cu-5% wt Zn. The mold filling process was simulated using the software ANSYS-FLOTRAN, considering atmospheric conditions under gravity, and the liquid metal was poured into the mold through a mold channel. In this analysis, the New k-ε model was incorporated in order to take the turbulence phenomena into account. All the thermophysical properties for the alloy and for the mold were considered according to the temperature. Three forms of latent heat release were considered during the solidification simulations: linear, exponential (Scheil) and sinusoid behavior based on the solid fraction, and their effects on the solidification behavior were analyzed. The following results were obtained: velocity, temperature distribution and pressure fields during mold-filling, thermal field, heat flux, temperature gradients and cooling curves in the metal and in the mold during solidification. The advantage of the present simulation is to analyze several phenomena in the mold filling process which are not commonplace when experimentally visualized, and can be determinant for the solidification stage.

Keywords: Finite elements. Pouring into the mold. Solidification. Cu-5%Zn alloy.

1 Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG - Doutor em Ciências dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: <moisespariona@yahoo.com.br>.

2 Aluna de Iniciação Científica do Departamento de Matemática e Estatística da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. E-mail: <madsyllian@gmail.com>.

3 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP - Campus São João da Boa Vista - Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas. E-mail: <cheung@ifsp.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos houve uma evolução muito grande na área de simulação numérica em todas as áreas da ciência. Particularmente, o processo da fundição envolve características físicas complexas, sendo por isso necessária a sua modelagem. Os estágios do processo da fundição são os seguintes (FERREIRA, 2005): aquecimento-fusão do metal, vazamento no molde e solidificação. O estudo do processo de vazamento no molde pode ser considerado como um problema de mecânica dos fluidos, em que muitos fenômenos são apresentados, como a turbulência, a transferência de calor no sistema (metal fundido e molde), a variação de pressão dentro do molde, etc. Este estágio tem uma influência muito grande nas características da solidificação. No estágio da solidificação também ocorrem muitos fenômenos, que se relacionam mutuamente, sendo entre eles: transferência de calor no sistema (metal fundido e molde), formação dos defeitos macrossegregados e microssegregados, tensão térmica no metal fundido/molde, etc (GUO, 2005; SHEPEL, 2002). A simulação do processo de fundição torna-se um desafio pela complexidade dos fenômenos líquido-térmico-mecânicos que se apresentam neste processo. Além disso, estes fenômenos são de característica transiente e experimentalmente muitas vezes são difíceis de medi-los. Neste sentido, com a simulação numérica, todos os fenômenos envolvidos podem ser estudados e correlacionados, assim como os parâmetros de influência podem ser quantificados durante o processo da fundição.

Neste estudo, a simulação numérica do vazamento no molde e do processo da solidificação da liga de Cu-5%Zn foi realizada no molde permanente. Para esta finalidade o *software* ANSYS, baseado no método de elementos finitos, foi utilizado. Para o processo de vazamento no molde os valores das propriedades como a densidade, o calor específico e a viscosidade da liga foram considerados constantes, pois, para

esta liga no estado líquido, as propriedades praticamente não variam (MIETTINEN, 2001), com exceção da condutividade térmica desta liga que foi considerada em função da temperatura. Para a simulação, o fenômeno de turbulência, a gravidade e a condição de líquido incompressível foram considerados, e o tempo de análise do preenchimento do molde foi até 3s. Como resultado, a velocidade do fluido, a variação de temperatura e a pressão no molde e no forno foram determinadas, bem como também a forma do preenchimento da cavidade. O processo de solidificação foi simulado levando-se em conta o processo de vazamento do molde. Na simulação da solidificação, as propriedades termofísicas em função da temperatura foram consideradas, tanto para a liga quanto para o molde, e para a obtenção destas propriedades foi usado o *software* Thermo-Calc. A geração do calor foi considerada, utilizando-se três modelos de evolução de fração do sólido: uma equação linear, a equação de Scheil (GARCIA, 2007) e a equação proposta por Radovic e Lalovic (RADOVIC, 2005). Como resultado, o campo térmico e o histórico térmico foram determinados para todo o sistema.

2 MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROCESSO DE VAZAMENTO E SOLIDIFICAÇÃO

As equações que governam o escoamento do fluido são dadas pelas equações de conservação de massa, momento e energia; e elas podem ser expressas deste modo (JANIK, 2004):

- (a) Equação da conservação de massa (continuidade), assumindo-se que a densidade (ρ) é constante, então:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

Onde a velocidade = (u, v, w) é expressa de acordo com suas três componentes.

(b) A equação de conservação do momento (Navier-Stokes) pode ser expressa como:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2)$$

A viscosidade do fluido e a densidade foram consideradas constantes. Onde, P é pressão, μ é a viscosidade dinâmica e \vec{g} gravidade.

(c) A equação da energia é dada pela seguinte equação:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

onde c é o calor específico, k é a condutividade térmica e T a temperatura.

2.1 Modelagem matemática da superfície livre

Um dos problemas do preenchimento do molde está relacionado com o monitoramento da superfície livre. Para isto, é necessário introduzir um novo conceito para resolver as equações que governam a mecânica de fluidos. O problema do vazamento do molde pode ser caracterizado pelo conceito da fração sólida e este parâmetro é descrito de forma adequada pelo algoritmo de VOF (Volume de Fluido, do inglês “*Volume of Fluid*”). A técnica de VOF é caracterizada pela fração de volume do líquido que serve para monitorar a superfície livre e para controlar o espaço do domínio do líquido. Para isto é necessário definir a função $f(x, y, z, t)$ que descreve a fração de volume, que controla cada elemento da malha ocupado pelo líquido. Seu valor é o da unidade (100%) para as células ocupadas inteiramente pelo metal líquido, zero para células vazias e entre zero e a unidade para as células da superfície livre. Esta função deve conservar a massa, mesmo que ela sofra a ação da convecção, e a sua dependência com o tempo

é dada pela seguinte equação (ANSYS, 2009; HIRT, 1981; KATZAROV, 2003):

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla f \cdot \vec{v} = 0 \quad (4)$$

Este método é baseado na técnica de minimização da informação armazenada e evita os problemas de lógica associados com as superfícies de interseção. As derivadas desta função podem ser usadas para estimar a orientação da superfície do fluido e finalmente esta técnica apresenta uma melhoria na eficiência do cálculo computacional.

Quando o molde é vazado com o metal fluido, ocorre o fenômeno da turbulência (MIETTINEN, 2001). A turbulência significa que a velocidade instantânea do fluido flutua em cada ponto do campo de velocidades pelo fato do efeito das forças de inércia sobrepor o das forças viscosas (PRITCHARD, 2010). Para simular a turbulência, existem muitos modelos matemáticos na literatura. Por exemplo, alguns modelos de turbulência como os disponíveis em FLOTRAN (ANSYS, 2009; MIAO, 2006): *Standard k-ε Model*; *Zero Equation Model*; *RNG (Re-normalized Group Model)*; *NKE (New k-ε Model)*; *GIR (Model due to Girimaji)*; *SZL (Shi, Zhu, Lumley Model)*. Normalmente o *Standard k-ε Model* é o mais aplicado para análise da turbulência em tubos e canais, entretanto, este modelo superestima o efeito turbulento em muitas aplicações em que há a existência de altas tensões envolvidas e ondas de choques além de apresentar problemas na inclusão de pontos de estagnação. Em geral, os modelos RNG, NKE, GIR, e SZL produzem resultados compatíveis com a realidade em regiões submetidas a elevadas tensões como em casos de escoamentos com altas acelerações e desacelerações, ou ainda com zonas de recirculação. O modelo NKE é usado comumente para resolver equações diferenciais parciais que envolvem a turbulência, onde k significa a energia cinética e ε sua taxa de dissipação.

A equação da energia cinética referente à turbulência do modelo NKE é dada por (ANSYS, 2009):

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\kappa)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\kappa)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\kappa)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial z} \right) + \mu_t \Phi - \rho \varepsilon + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_t} \left(g_x \frac{\partial T}{\partial x} + g_y \frac{\partial T}{\partial y} + g_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

O termo de dissipação viscosa Φ é definida por:

$$\Phi = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \quad (6)$$

onde σ_ν é o número de Prandtl em regime turbulento; g_x , g_y and g_z , são as componentes da aceleração gravitacional.

A viscosidade turbulenta (μ_t) é calculada em função dos parâmetros de energia cinética turbulenta (κ), de sua taxa de dissipação (ε) e da constante de turbulência (C_μ):

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

C_μ e $C_{1\varepsilon}$ são dadas por:

$$C_\mu = \frac{1}{4 + 1.5\sqrt{\eta^2 + \xi^2}} \quad (10)$$

$$C_{1\varepsilon} = \max \left(C_{1M} \frac{\eta}{\eta + 5} \right) \quad (11)$$

Sendo η e ε definidas por:

$$\eta = \frac{\kappa}{\varepsilon} \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (12)$$

$$\xi = \frac{\kappa}{\varepsilon} \sqrt{2W_{ij}W_{ij}} \quad (13)$$

A taxa de dissipação (ε) é dada por:

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{\kappa} - \Phi C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{\kappa} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta_1 \rho \kappa}{\sigma_t} \left(g_x \frac{\partial T}{\partial x} + g_y \frac{\partial T}{\partial y} + g_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (8)$$

As novas funções, tensor de deformação S_{ij} , e o tensor assimétrico W_{ij} , são baseados nas componentes da velocidade u do escoamento:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$$

$$W_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} - u_{j,i}) + C_\mu \Omega_m \varepsilon_{mij} \quad (9)$$

sendo Ω_m a velocidade angular e ε_{mij} o operador tensorial alternante.

A formulação matemática de transferência de calor para prever a distribuição da temperatura durante a solidificação é baseada na equação geral da condução do calor no estado transiente. O fluxo tridimensional do calor é apresentado pela seguinte equação (INCROPERA, 1990):

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho.c.T) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{Q} \quad (14)$$

Onde \dot{Q} representa o termo associado à geração interna do calor devido à mudança da fase. Nesta equação, foram considerados que a condutividade térmica, a densidade e o calor específico variam com a temperatura (LI, 2008).

A condição de contorno nas superfícies externas do molde é dada pelo balanço de fluxos do calor devido à convecção e à radiação (GROZDANIC, 2002).

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_\infty) + \varepsilon \sigma (T^4 - T_s^4) \quad (15)$$

Onde h é o coeficiente de convecção associado com a convecção livre, T_∞ é a temperatura de ar no ambiente, T_s é a temperatura do meio ambiente, ε é a emissividade da superfície do molde e σ é a Constante de Stefan-Boltzmann de valor $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Neste trabalho, nenhuma fonte de calor externa foi aplicada e a única geração do calor é devido ao calor latente de solidificação, L (J/kg) ou ΔH (J/m³). \dot{Q} é proporcional à taxa de variação da fração solidificada, f_s , como se segue (MIDEA, 2002; LI, 2008; SANTOS, 2005):

$$\dot{Q} = \Delta H \frac{\partial f_s}{\partial t} = \rho L \frac{\partial f_s}{\partial t} = \rho L \frac{\partial f_s}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (16)$$

A Eq. (16) é dependente de duas variáveis: temperatura e fração sólida. A fração sólida pode ser uma função de uma série de variáveis. Mas em muitos sistemas, especialmente quando o super-resfriamento é pequeno, a fração sólida pode ser considerada como sendo dependente somente da temperatura. Diferentes formulações foram propostas em relação à fração sólida quando é dependente da temperatura. Uma das formulações mais simples é a relação linear (GARCIA, 2007):

$$f_s = \begin{cases} 0 & T > T_\ell \\ (T_\ell - T)/(T_\ell - T_s) & T_s \leq T \leq T_\ell \\ 1 & T < T_s \end{cases} \quad (17)$$

Onde T_ℓ e T_s são, respectivamente, a temperatura (K) *liquidus* e a temperatura *solidus*. Outra relação é a equação de Scheil, sendo esta equação extensamente usada, o que supõe uma concentração uniforme do soluto no líquido, mas não considera difusão no estado sólido (GARCIA, 2007):

$$f_s = 1 - \left(\frac{T_F - T}{T_F - T_\ell} \right)^{-1/1-k_0} \quad (18)$$

Onde T_F é o ponto de fusão do metal solvente (K), k_0 o coeficiente de partição da liga em equilíbrio.

Radovic & Lalovic (RADOVIC, 2005) formularam outra equação para modelar a mudança da fração sólida durante a solidificação, que pode ser escrita assim:

$$f_s = \frac{(T_\ell - T) + \frac{2}{\pi}(T_s - T_\ell)(1 - \cos \left[\frac{\pi(T - T_\ell)}{2(T_s - T_\ell)} \right])}{(T_\ell - T_s)(1 - 2/\pi)} \quad (19)$$

Considerando o pseudocalor específico (c'):

$$c' = c - L \frac{\partial f_s}{\partial T} \quad (20)$$

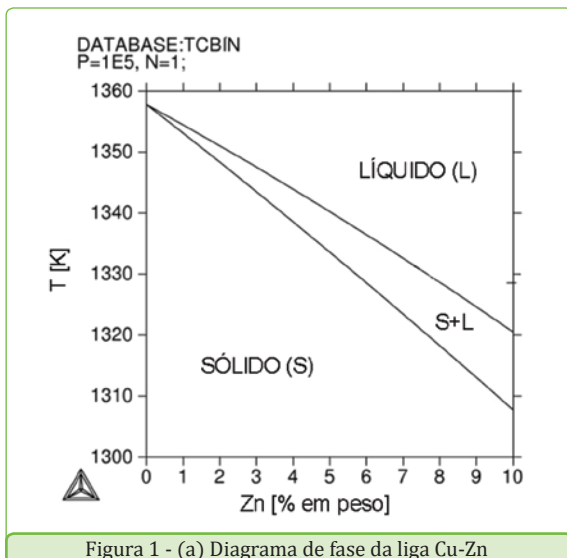
e combinando Eqs. (14), (16) e (20), obtém-se (SANTOS, 2005):

$$\frac{\partial (\rho c' T)}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (21)$$

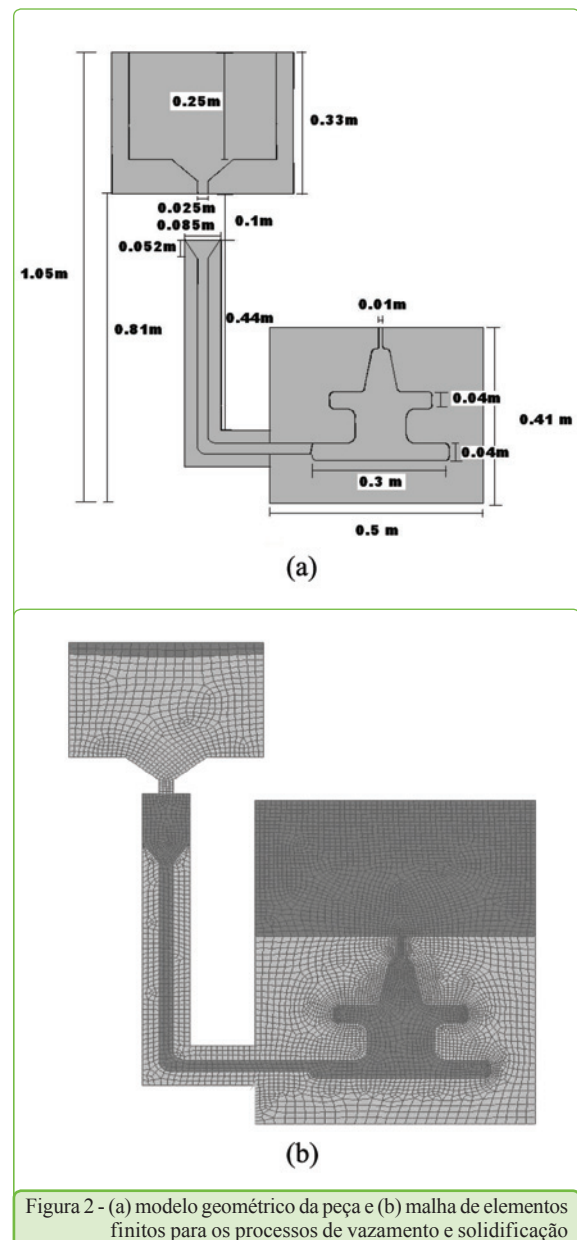
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi estudada a liga Cu-5%Zn, cujo dígrama de fase parcial encontra-se na Figura 1. Para o vazamento no molde pelo metal líquido em um molde permanente o fenômeno de turbulência do fluxo do fluido foi considerado. O modelo geométrico e a malha do sistema são representados na Figura 2. Na Fig.2(a) pode-se observar que entre a saída

do forno e a entrada do molde existe um espaço livre de 0,1 m, sendo expostos ao meio ambiente. As propriedades da liga foram obtidas do estudo de Miettinen (2001) e também a partir do *software* Thermo-Calc (versão 5, Foundation of Computational Thermodynamics, Stockholm, Suécia), como por exemplo, a entalpia conforme mostrada na Figura 3. As propriedades do molde permanente (Fe1,22%C-13%Mn) foram considerados segundo o artigo de Midea e Shah (MIDEA, 2002). Para simular o fluxo do metal líquido dentro do molde permanente, as seguintes condições foram consideradas: (a) inicialmente, foi estabelecida a condição da pressão atmosférica dentro e fora do molde; (b) a temperatura no instante de vazamento foi de 1550 K e a temperatura inicial do molde foi a temperatura do ambiente; (c) a velocidade do líquido foi fixada em zero nas paredes do molde; (d) o modelo matemático para a turbulência considerado foi o modelo NKE (ANSYS, 2009); (e) o algoritmo VOF foi usado para o vazamento no molde, neste caso, o valor do VOF do interior do forno foi considerado 1 (um) quando a cavidade continha metal líquido e também 1 (um) para toda a parede do molde, esta característica será representada pela cor cinza. O VOF foi considerado 0 (zero), para as regiões da cavidade a serem preenchidas pelo metal líquido (vazios) e estas serão representadas nas figuras pela cor preta. (f) o tempo necessário para o enchimento do molde com metal líquido foi de 3s e o intervalo de tempo de cada interação numérica foi de 0,05s.



Depois que a simulação do processo de enchimento do molde foi executada, a do processo da solidificação foi feita. Como condição de contorno neste processo, foi estabelecido o campo da temperatura após 3s de vazamento no molde. A geração do calor foi analisada utilizando-se os modelos I (Eq. 17), II (Eq. 18) e III (Eq. 19). As transferências de calor por radiação e por convecção (coeficiente de transferência de calor por convecção considerado com o valor de 70 W/m².K) foram levadas em conta na superfície externa do molde. O tempo total de simulação do processo de resfriamento adotado foi de 5400s.



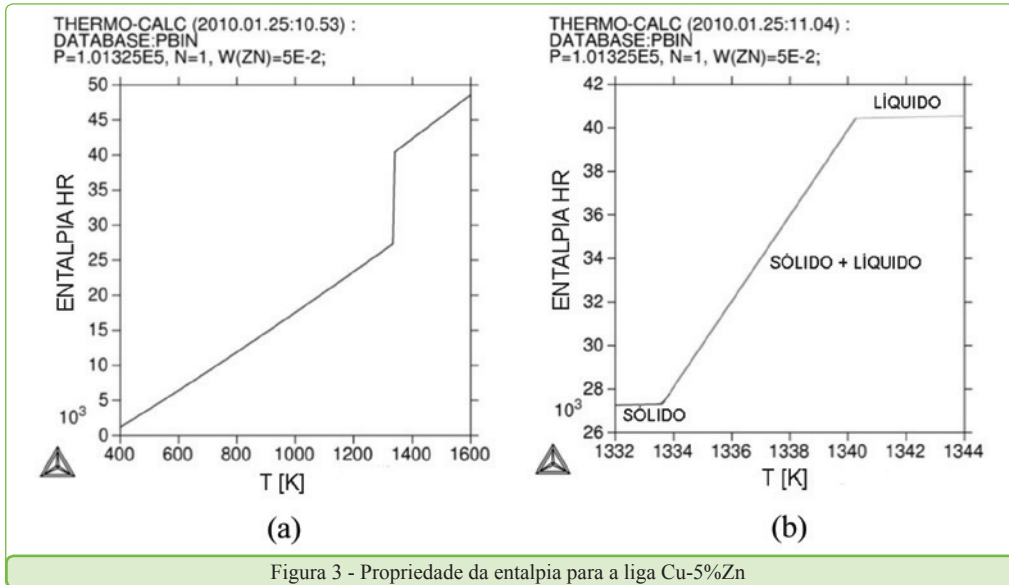


Figura 3 - Propriedade da entalpia para a liga Cu-5%Zn

4 RESULTADOS

Nesta pesquisa, o processo de vazamento do molde foi simulado

assim como o processo de solidificação. Os resultados encontrados são mostrados em forma qualitativa (Figuras de 4 a 6) pelas tonalidades cinza e em forma quantitativa.

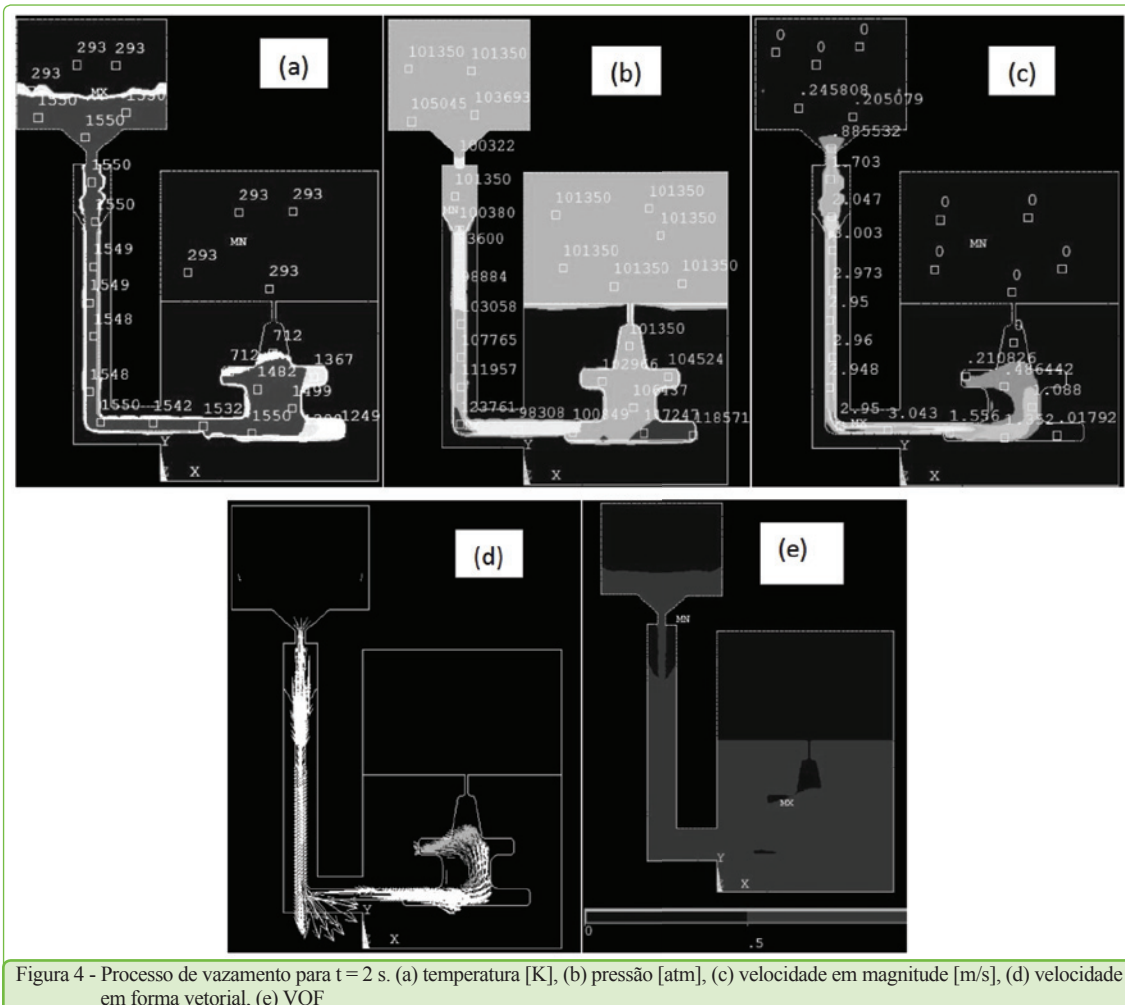


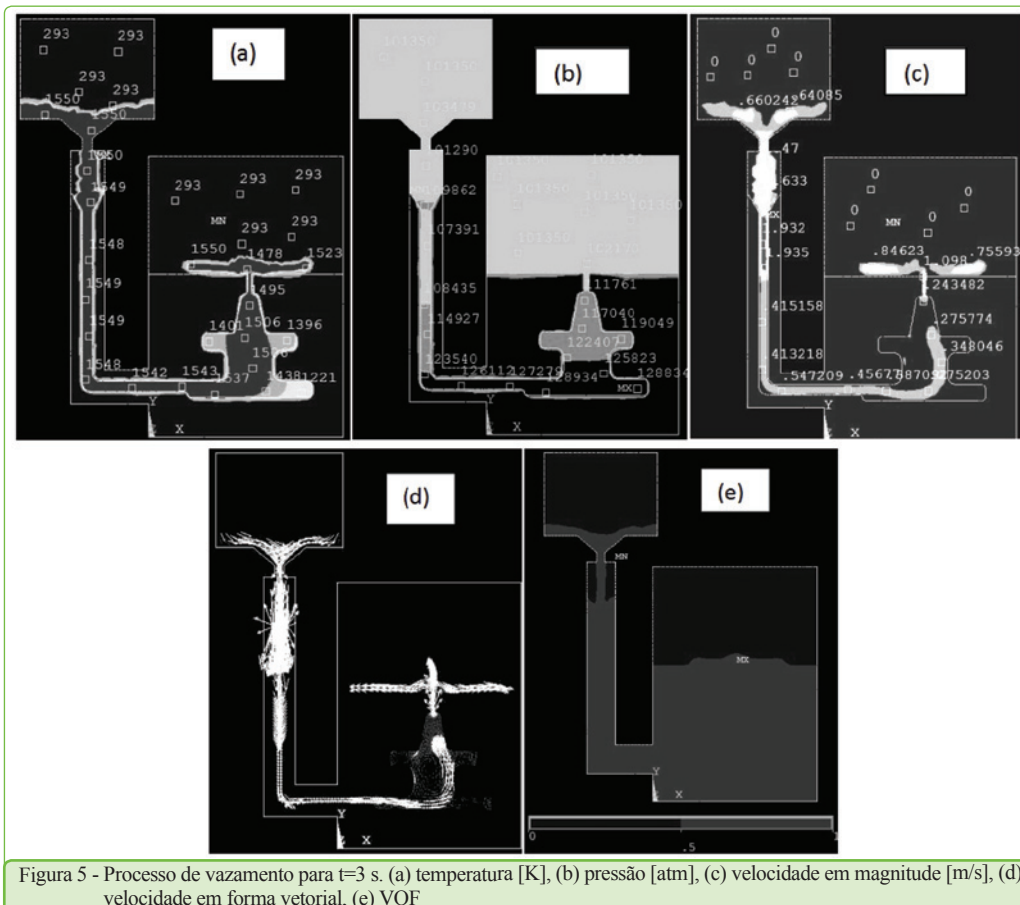
Figura 4 - Processo de vazamento para t = 2 s. (a) temperatura [K], (b) pressão [atm], (c) velocidade em magnitude [m/s], (d) velocidade em forma vetorial, (e) VOF

Neste estudo, diferentes fenômenos que surgem no processo de vazamento do molde foram observados. Para análise, optou-se pelos instantes 2 e 3s após o vazamento no molde.

O resultado para o tempo de vazamento de 2 segundos é mostrado na Figura 4. Observando-se o campo térmico em todo o sistema (Fig 4(a)), nota-se um maior resfriamento nas partes curvas do molde, devido à estagnação do líquido. Na figura (Fig.4(b)), é observada a variação da pressão em todo o sistema quando o metal fundido preenche a cavidade, sendo que a pressão eleva-se em relação à pressão atmosférica. A velocidade do fluido (Fig.4 (c) e (d)) varia com a sua trajetória, sendo mais alta na base do canal de vazamento em relação às outras zonas, durante o preenchimento da cavidade, devido à turbulência. Durante este processo, na parte inferior do molde, notam-se zonas vazias livre de metal líquido. Este fato pode ser verificado na Fig. 4(e), possivelmente devido à presença da turbulência e do tempo insuficiente de preenchimento.

Outro resultado do vazamento é mostrado na Figura 5, que corresponde ao tempo de

3 segundos. Observa-se que o líquido é expelido na saída do molde, produzindo um escoamento do metal líquido na sua superfície externa. Este fenômeno foi estudado para os diferentes modelos de turbulência, e o resultado mais coerente foi dado para o modelo NKE da turbulência. Neste resultado observa-se a variação do campo térmico (Fig.5(a)) em todo o sistema, inclusive do líquido que se encontra na superfície externa do molde. Neste caso é mais notória a variação da pressão (Fig.5(b)) em relação ao resultado anterior (2 segundos), porque o processo de preenchimento da cavidade pelo metal líquido foi maior. Na Fig. 5(c) e (d) é mostrado o campo de velocidade, sendo que a magnitude de velocidade para este tempo de 3 segundos é menor em todas as zonas, comparado com o tempo de 2 segundos, devido ao fato de o molde se encontrar preenchido totalmente pelo metal líquido. Pode ser verificado que a cavidade foi totalmente preenchida pelo metal líquido na Fig. 5(e). Este resultado significa que a altura do canal de vazamento foi adequada, não ficaram gases estagnados durante o preenchimento e o tempo de 3 segundos foi suficiente.



Os defeitos macroestruturais, tais como a contração, a macrossegregação, a erosão do molde, etc. (FERREIRA, 2005; KATZAROV, 2003), dependem da maneira do preenchimento da cavidade, da altura do forno em relação ao molde, da turbulência, da temperatura de superaquecimento do metal líquido, da velocidade de enchimento, da tensão de superficial do metal líquido, da pressão metalostática, da temperatura do molde. A fração do volume é um parâmetro importante que caracteriza a qualidade de preenchimento do molde e que prevê os defeitos macroestruturais.

Para o processo da simulação do vazamento, é fundamental ter uma boa malha (aproximadamente 4000 elementos, neste caso em estudo) do modelo geométrico. Tal malha deve ter continuidade em toda geometria. Além disso, o elemento de malha deve ter uma geometria quadrilateral, para ter melhor controle do processo de enchimento, propiciando o uso da técnica de VOF. Outro parâmetro importante é o tamanho de passo do tempo de simulação que, neste caso, foi de 0.05 s, sendo adequado para o acompanhamento dos fenômenos ocorridos. Estas considerações são importantes para obter uma convergência boa da solução da equação diferencial parcial transiente.

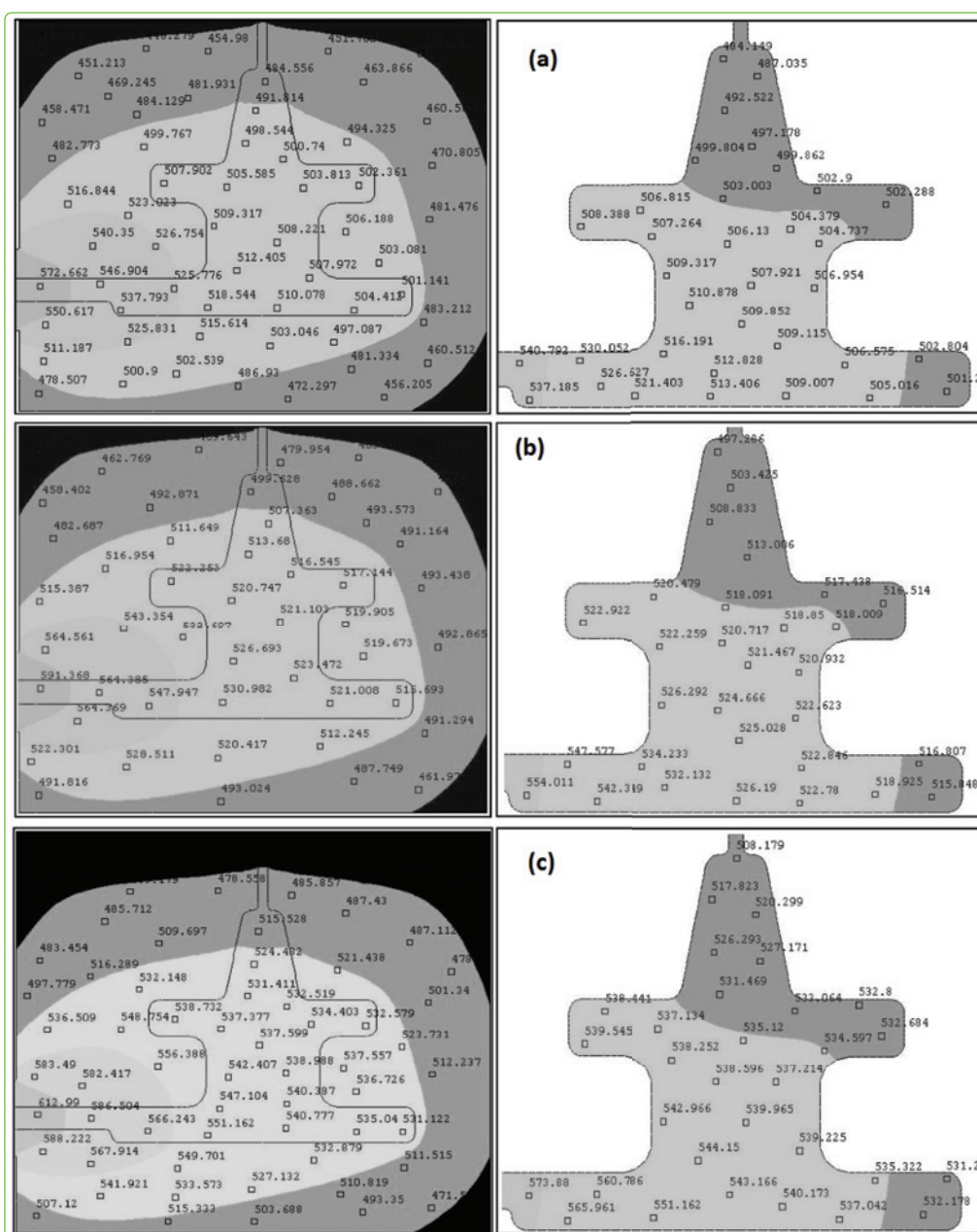


Figura 6 - Campo de temperatura [K] em todo o sistema (lado esquerdo) e no metal fundido (lado direito). (a) para o modelo I (modelo linear), (b) para o modelo II (modelo de Scheil) e (c) para o modelo III (modelo de Radovic e Lalovic)

O resultado da simulação do processo de solidificação é mostrado na Figura 6, onde o campo térmico, após 5400s, é mostrado em todo o sistema (lado esquerdo) e, no lado direito, é mostrado no metal fundido. Nesta figura, o resultado é mostrado para os três modelos da geração do calor. Pode-se observar que o resultado do campo térmico é diferente para cada modelo da geração do calor, sendo que o modelo III (modelo de Radovic e Lalovic, Equação 20) apresentou um campo térmico com temperaturas mais elevadas se comparado com os outros, seguido pelo modelo II (modelo de Scheil, Equação 19) e por último pelo modelo I (modelo linear, Equação 18) e isto significa que para o modelo III o processo de resfriamento é mais lento.

Outro resultado importante deste estudo são as curvas de resfriamento (histórico térmico) do metal fundido e as curvas de aquecimento/resfriamento no molde. Este resultado foi obtido em diferentes pontos do metal fundido e no sistema de molde (Fig.7). Na Figura 8, o lado direito representa as curvas de resfriamento no metal fundido e o lado esquerdo representa as curvas ampliadas que correspondem ao processo inicial de resfriamento. Observa-se que, em alguns pontos da Figura 8, unicamente uma ou duas mudanças da curvatura ocorreram. Observa-se, na curva da posição 1, que o maior patamar de temperatura corresponde ao modelo III, seguido pelo modelo I e por último pelo modelo II.

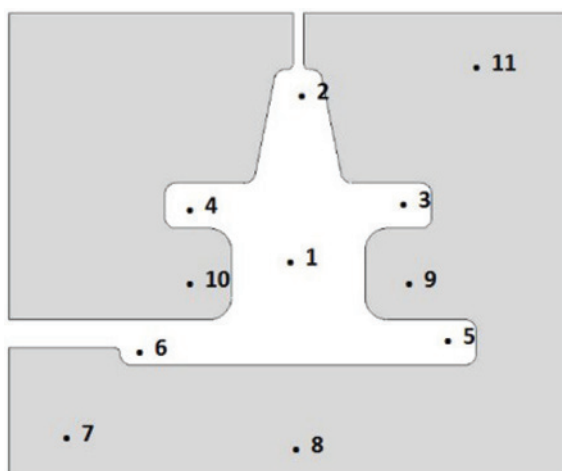
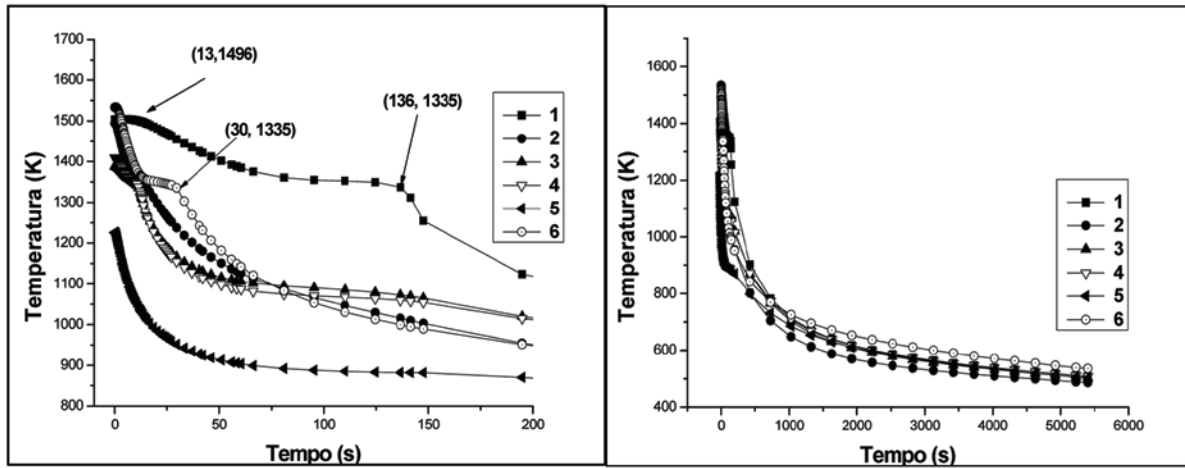


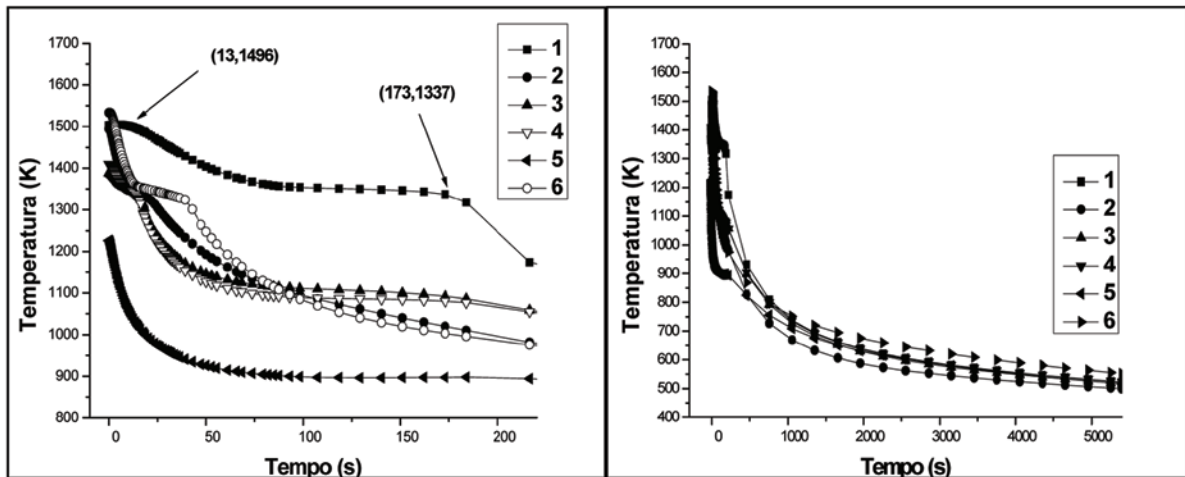
Figura 7 - Pontos de referência no metal fundido e molde

Por exemplo, na curva que corresponde ao ponto 2 (Fig. 8), o patamar de temperatura não aparece, apresentado uma queda abrupta desta curva em relação às outras curvas, porque este ponto encontra-se perto da saída do molde, onde ocorre um alto resfriamento. Na curva referente à posição 1 da Figura 8, um patamar longo apresenta-se em todos os modelos da geração do calor, além disso, o campo térmico é mais quente neste ponto, sendo este patamar o maior de todos. Analisando o comprimento deste patamar com mais detalhe, foi necessário quantificar a mudança da segunda curvatura deste patamar em função do tempo e da temperatura. Para o modelo I, a temperatura foi de 1335K e o tempo foi de 136s; para o modelo II a temperatura foi de 1337K e o tempo foi de 173s; e para o modelo III a temperatura foi de 1338K e o tempo foi de 223s. Com esta análise, verifica-se que o modelo III apresenta um patamar mais longo que os outros modelos. As temperaturas nos pontos 3, 4 e 5 não foram acima de 1400K, quando estas zonas foram preenchidas pelo metal líquido, diminuindo a temperatura por convecção ao longo do caminho percorrido. Adicionalmente, porções do líquido ficaram estagnadas nestas zonas devido à característica da geometria do molde e resfriaram mais se comparados com os pontos 2 e 6.

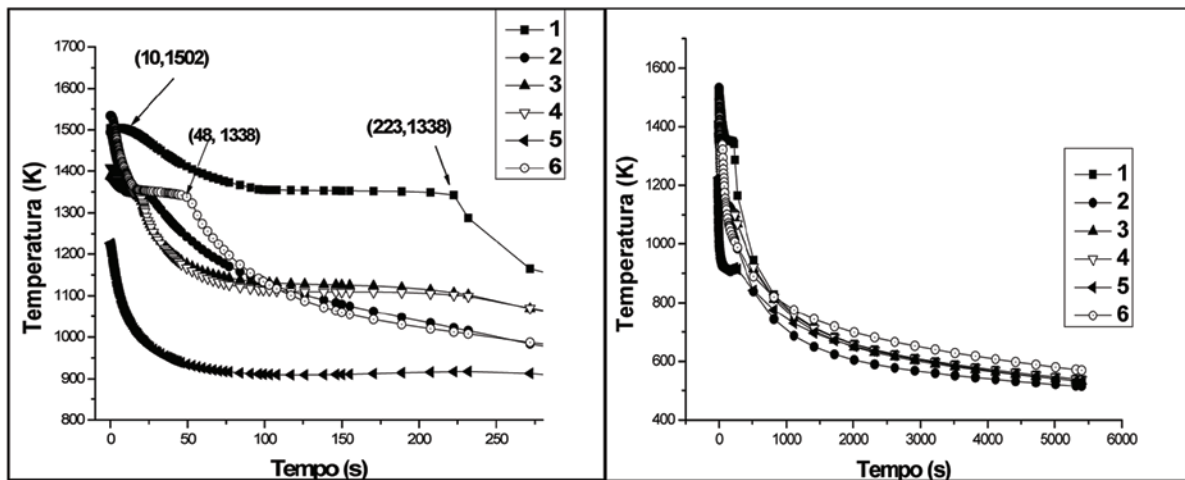
As curvas de aquecimento e resfriamento do molde são mostradas na Figura 9. O resultado que corresponde aos pontos 9 e 10 do molde são mais proeminentes, porque estes pontos encontram-se perto do metal fundido. Em relação aos outros pontos, a máxima temperatura foi atingida no ponto 9, sendo maior para o modelo III. No ponto 11, a evolução do aquecimento foi praticamente idêntica em todos os modelos empregados.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 - Curvas de resfriamento dentro no metal fundido. (a) para o modelo I (modelo linear), (b) para o modelo II (modelo de Scheil) e (c) para o modelo III (modelo de Radovic e Lalovic)

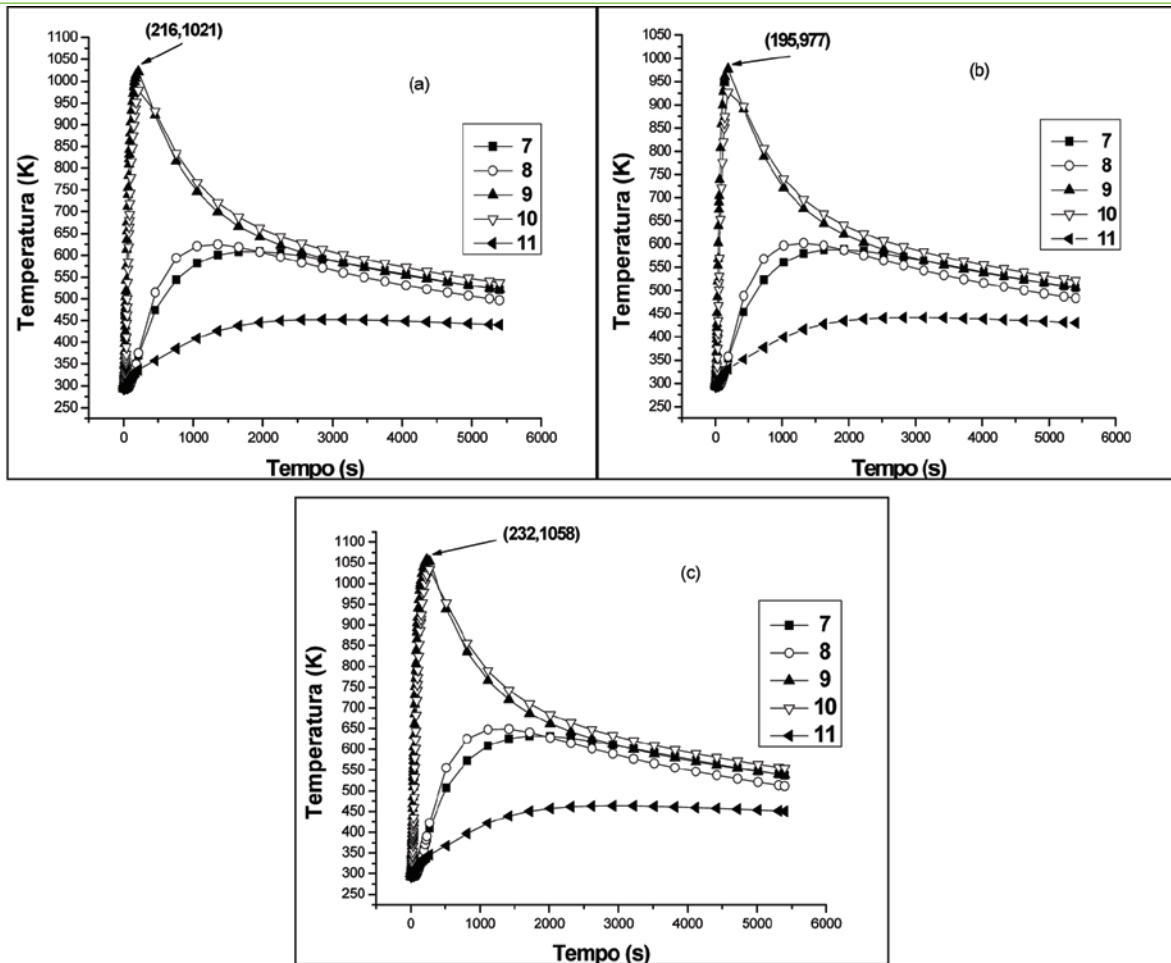


Figura 9 - Curvas de aquecimento/resfriamento no molde. (a) para o modelo I (modelo linear), (b) para o modelo II (modelo de Scheil) e (c) para o modelo III (modelo de Radovic e Lalovic)

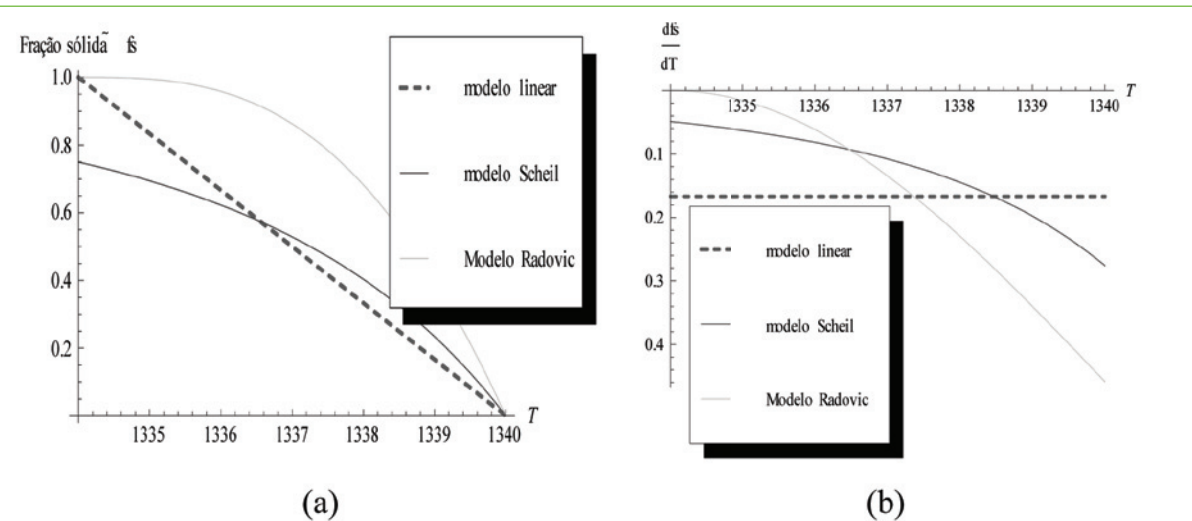


Figura 10 - a) Evolução da fração sólida em função da temperatura para os três modelos de liberação de calor latente
b) Evolução da variação da fração sólida em função da temperatura (df_s/dT) para os três modelos de liberação de calor latente

Tanto na análise térmica feita para o molde quanto para o metal fundido, o modelo de liberação de calor latente

proposto por Radovic e Lalovic sempre fornece perfis de temperaturas maiores em relação aos outros modelos (Linear

e Scheil). Este fato se deve à forma de liberação de calor latente dada pelos modelos (Equações 18 a 20). Na Figura 10(a), nota-se que para qualquer temperatura dentro da zona pastosa, tem-se que a maior fração sólida existente é dada pelo modelo de Radovic e Lalovic, seguido pelo modelo linear e, por último, pelo de Scheil, mas o comportamento destes dois últimos modelos se inverte na temperatura de 1336,5. Como a liberação de calor latente é função da formação da fração sólida (Equação 17), conclui-se que a maior taxa de liberação de calor latente é dada pelo modelo de Radovic e Lalovic em relação aos outros modelos. Analisando a inclinação (df_s/dT) das curvas da Figura 10(b), para o intervalo de solidificação (de 1340 a 1336,5 K), nota-se que a maior taxa de formação de fração sólida em função da temperatura (df_s/dT) é dada pelo modelo de Radovic e Lalovic, seguida pelo o de Scheil e finalmente pelo linear. Para o intervalo restante, o comportamento das derivadas se inverte. Entretanto, a maior parte da fração sólida foi formada no primeiro intervalo de solidificação (de 1340 a 1336,5 K) pelo modelo de Radovic e Lalovic, significando que a maior parte do calor latente já foi liberada e, por isso, para este modelo em referência, o sistema apresentou perfis de temperaturas mais elevados.

A pesquisa do vazamento do molde e do processo de solidificação pela simulação numérica é um trabalho complexo, porque envolve a presença de muitos fenômenos que ocorrem nesses processos. Mas, a simulação numérica é uma poderosa ferramenta que permite identificar e quantificar tais fenômenos. O conhecimento e o controle dos parâmetros envolvidos nestes processos são muito importantes e desafiadores para obter um enchimento e uma solidificação de boa qualidade com intuito de alcançar a exatidão dimensional da peça fundida, evitando o aparecimento de defeitos macro e microestruturais. A qualidade de enchimento do molde influencia certamente na qualidade do metal solidificado.

5 CONCLUSÕES

Durante o processo de vazamento no molde apresentaram-se diferentes fenômenos e foram observados, por meio de simulação numérica em regime transiente, o campo de velocidade, o campo de temperatura, o campo de pressão e de fração sólida. O modelo senoidal da geração do calor (Eq. 20) possui uma taxa de liberação de calor maior em relação aos outros modelos (Eq. 18 e Eq. 19). O processo de solidificação foi influenciado pelo processo de enchimento do molde, devido à forma resultante da distribuição de temperaturas causada pelo movimento de fluido. No início da solidificação, na entrada do molde, o maior patamar observado no histórico térmico corresponde ao modelo III (modelo senoidal da geração do calor). No processo de vazamento foram previstos, pela simulação numérica, os campos de temperatura, de pressão, de velocidade e VOF. No processo da solidificação foram determinados o campo de temperatura, curvas de resfriamento em diferentes pontos do sistema e a evolução de da fração sólida usando diferentes modelos de liberação de calor latente. Deste modo, a simulação apresenta-se como um ferramental em potencial que otimiza o processo de fundição, mostrando os resultados em forma qualitativa e quantitativa sendo estes resultados muitas vezes difíceis de serem medidos experimentalmente. A simulação numérica evita a perda do material e desgaste de equipamentos inerentes ao processo de tentativa e erro, além de propiciar economia de mão de obra e tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, pelo suporte financeiro em forma de bolsa, ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e à CAPES.

REFERÊNCIAS

ANSYS HANDBOOK. Ansys Inc. Canonsburg, PA., 2009.

- FERREIRA, I. L. et al. The effect of melt temperature profile on the transient metal/mold heat transfer coefficient during solidification. *Materials Science and Engineering*, 408, 2005, p. 317–325.
- GARCIA, A. *Solidificação: fundamentos e aplicações*. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.
- GROZDANIC, V. Numerical simulation of the solidification of a steel rail-wheel casting and the optimum dimension of the riser. *Materiali in tehnologije*, 36, 2002, p. 39-41.
- GUO, Z. et al. Modelling of materials properties and behaviour critical to casting simulation. *Materials Science and Engineering*, 413–414, 2005, p. 465–469.
- HIRT, C.W.; NICHOLS, B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39, 1981, p.201–225.
- INCROPERA, F. P.; DEWIT, D.P. *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: Wiley, 1990.
- JANIK, M.; DYJA, H. Modelling of three-dimensional temperature field inside the mould during continuous casting of steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 157–158, 2004, p. 177-182.
- KATZAROV, I. H. Finite element modeling of the porosity formation in casting, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 2003, p. 1545-1552.
- LI, Y.Y.; TSAI, D.C.; HWANG, W.S. Numerical simulation of the solidification microstructure of a 17-4PH stainless steel investment casting and its experimental verification. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 16, 2008, p. 1-15.
- MIAO, Y.-C. et al. Numerical simulation of the fluid flow, heat transfer, and solidification of twin-roll strip casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 174, 2006, p. 7–13.
- MIDEA, T.; SHAH, J.V. Mold material thermophysical data. *AFS Transaction*, 02-080, 2002, p.1-16.
- MIETTINEN, J. Thermodynamic-Kinetic simulation of solidification in binary fcc copper alloys with calculation of thermophysical properties. *Computational Materials Science*, 22, 2001, p. 240-260.
- PRITCHARD, P; J. Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, Inc., United Kingdom 2010.
- RADOVIC, Z.; LALOVIC, M. Numerical simulation of steel ingot solidification process. *Journal of Materials Processing Technology*, 160, 2005, p. 156–159.
- SANTOS, C. A. et al. An solidification heat transfer model and a neural network based algorithm applied to the continuous casting of steel billets and blooms. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 13, 2005, p. 1071–1087.
- SHEPEL, S.V.; PAOLUCCI, S. Numerical simulation of filling and solidification of permanent mold casting. *Applied Thermal Engineering*, 22, 2002, p. 229-248.

Laurentiu Neamtu ¹

The purpose of this article is to briefly present a first approach to the management of technological projects, emphasizing some of the key issues a technical professional would face once he is involved in such a project. It is a common fact that technical experts are involved in management activities without professional supervision nor proper knowledge of project management. This is generating avoidable conflict situations and project failures although technically high prepared professionals are involved in the project tasks. This article invites the reader to think about the fact that the task of managing people or specific project situations is different from managing mechanisms, robots or algorithms. Different project management frameworks and associated concepts are briefly presented in this article and some considerations related to the value of project management are made based on the results of a world market research.

Keywords: Project management. Technology. Processes. Knowledge area. Frameworks. Value.

O objetivo deste artigo é apresentar brevemente uma primeira abordagem em gerenciamento de projetos tecnológicos, enfatizando alguns dos problemas centrais que um profissional técnico envolvido em projetos deste tipo certamente verificaria. É sabido que especialistas da área técnica têm se envolvido em atividades de gerenciamento sem a devida supervisão de um profissional e sem mesmo dominar noções de gerenciamento de projetos. Esta condição tem gerado falhas de projeto e situações de conflito evitáveis, embora profissionais altamente qualificados e preparados estejam envolvidos nas tarefas do projeto. Este artigo convida o leitor a refletir se a tarefa de gerenciar pessoas ou situações específicas do projeto distingue-se do gerenciamento de mecanismos, robôs ou algoritmos. Baseado nos resultados de uma pesquisa de mercado em âmbito mundial, este artigo apresenta brevemente diferentes sistemas de gerenciamento de projetos e conceitos associados, além de algumas considerações relacionadas ao valor do gerenciamento do projeto.

Palavras-chave: Gerenciamento de projeto. Tecnologia. Processos. Área de conhecimento. Estruturas. Valor.

1 INTRODUCTION

The idea of this article was born when the author was a Project Management professor in a business engineering school. Thus, both as PhD and internationally certified project management professional (PMP®), the author has experimented the sensations that one can feel when living both as a researcher, primarily preoccupied with his own research work,

and as a project manager, when the focus is completely different and it is mainly related to coordinate other's work in order to get the overhaul project success. The most difficult challenge when switching from one position to the other is being able to change the way of thinking and acting from making things to making things happen. One could say it is easy to act as a boss, especially when you are a recognized scientific personality, but this is

¹ La Salle BES, Universitat Ramon Llull - Barcelona, Espanha. E-mail: <laurentiu@salle.url.edu>, <laurneamtu@gmail.com>.

not the point. It is not necessary for a successful project manager to be a Nobel Prize winner. As a matter of fact, it has nothing to do with it.

Since we are in an introductory chapter, let us introduce a basic definition: what a project is. As defined by PMBOK® Guide (2008), a project “is a temporary endeavor with a beginning and an end” and it “creates a unique product, service, or result”. It is quite a short definition, but it gives the essence that everybody should know once he has been involved in a project: the project is not an endless job. And this is one of the first problems we may find when managing a technological project: for the people involved in project tasks (we will call them team members furthermore) make them finish their work on time and make them focus and do the work they are supposed to deliver. The point here is to make the team members understand they are working on a product which is the answer to a real market demand and precisely because of this should be placed on the market at a specific moment. This is what we call “make the change from the technological vision to the market vision”, to switch from the technological push to the market pull. The reader might laugh but this is a very complicated issue to clarify especially when working in a creative environment where the team members are taking things too much personal, generating alternatives for the sake of their own knowledge or investing a lot of effort in delivering features nobody asked them to deliver but that they created just because they think it would be nice to have (see Figures 1 and 2 below).



Figure 1 - Generating alternatives out of the scope of the actual project

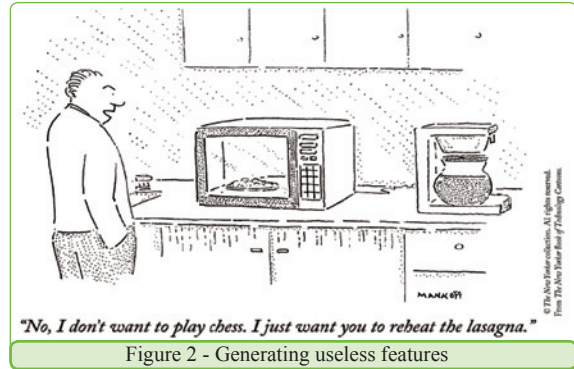


Figure 2 - Generating useless features

Nevertheless this makes sense and it has a simple explanation considering how specialists are being formed. Let us try to give an example that will clearly show the differences between the situations the school prepares the mind to deal with and the challenges life opposes the mind to. Table 1 presents some issues one could face during the school years. The fact is that school is offering the information one could find in a controlled environment. But the question is: is life itself a controlled environment?

Table 1 - Laboratory vs. Project environment

Issue	School/ Laboratory	Life/Project
Number of variables in a problem	Few	Many
Formulas	Yes	No
Verification method	Yes	No
In case of error, may repeat	Yes	No
When repeating, result is the same	Yes	Not always
Solve the problem	It is taught	?

In general, scientists, engineers, technical specialists are not prepared in school to face real life, they don’t really know what a technological project is and how to deal with it. They will feel comfortable facing a specific isolated technical problem, but not when facing a whole technical project. Companies are aware of this drawback and once they buy from the market the best technical specialists, they still have a problem:

since they lack project management vision, how are they going to successfully manage the projects where these highly qualified and costly technical resources are involved in? During the last years, specialized project management training is trying to give an answer to it. The creation of specific project management frameworks is also undergoing.

2 PROJECT MANAGEMENT FRAMEWORKS

Today it is a fact that only 32% of the projects developed all over the world are successful (STANDISH GROUP, 2009). When we talk about success we refer not only to the basic constraint related to scope, costs and deadlines, but also to the way quality, risks, resources and client satisfaction have been managed. It is known the leaders of the technological projects are generally highly qualified technical professionals, so, why are there such a small number of really successful projects? It is obvious that there is something missing. Having a good technological knowledge may help but in order to successfully manage a project, training in project management is necessary and the adoption of management frameworks to set a common language for the project team seems to be a natural approach. On the other hand, remembering we are prepared to act and give proper answers in a controlled environment leads us to a question: why don't we try to create something similar in order to reduce the uncertainty of the

proper behavior to face a project situation? Certainly risk will still be an issue and experience will be a key matter when taking adequate decisions, but the possibility of applying the good practices that a management framework recommends would be even of greater help for a project management practitioner. This is why there is a growing tendency in the companies to adopt general frameworks for the management of their projects. This adoption is not only due to internal reasons (i.e. improve management system) but also to external ones (i.e. clients requests). Let us briefly inform over some of the most world wide spread systems: PRINCE2®, ISO10.006, IPMA® and PMBOK® Guide.

2.1 PRINCE2®

PRINCE2® (**P**rojects **I**N **C**ontrolled **E**nvironments) is a scalable process-based method, which may be effectively applied to the management of different kind of projects <<http://www.prince2.com>>. For each process of a project, specific inputs and outputs are defined together with the objectives to be achieved and the activities to be performed. It is based mainly on the fact the project is depending on the organization and there is always a technical part and a management part. To give a brief idea about the processes one may find when applying this methodology, a PRINCE2® process model diagram is presented below in Figure 3 (for further details, see: <<http://www.prince2.com/prince2-process-model.asp#prince2-controlling-a-stage>>):

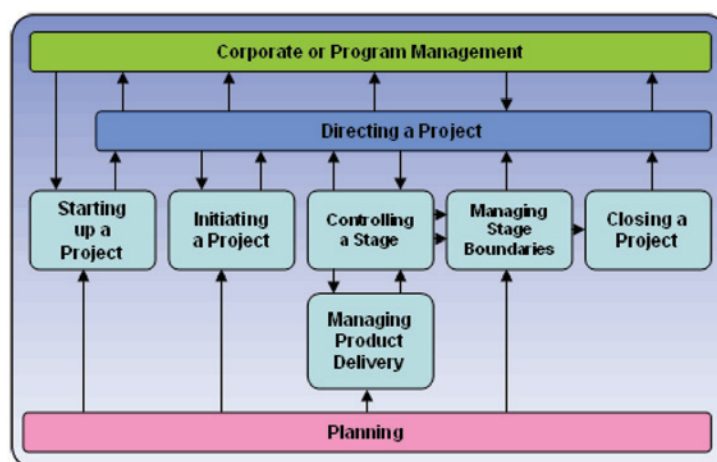


Figure 3 - PRINCE2® process model diagram

PRINCE was established in 1989 by CCTA (the Central Computer and Telecommunications Agency) and it is a “de facto standard used extensively by the UK Government”. It is recognized and used in the private sector, both in the UK and internationally. Published in 1996, PRINCE2® has contributed to a consortium of 150 European organizations. The method PRINCE2® is of public domain, offering non-proprietary best practice guidance on project management and the copyright is retained by the British Crown. It is a registered trademark of OGC (the Office of Government Commerce).

There are two PRINCE2® qualification levels: PRINCE2® Foundation and PRINCE2® Practitioner. PRINCE2® Foundation level is for those users who require to learn the basics of PRINCE2® and its terminology. PRINCE2® Practitioner is the highest level qualification which is suitable for those who need to manage projects within a PRINCE2® environment.

2.2 ISO10.006

<http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=36643>

This standard is also included in ISO 9000 Quality management standard. Also known as ISO10006:2003, it guides the elements, concepts and practices of the quality management system in project. It is applicable to several projects, irrespective of complexity, size, duration, environment, and kind of product or process involved. Because of this specifics, it may be necessary some tailoring from the guidance to fit a particular project.

ISO 10006:2003 is not a guide to “project management” itself. Guidance on how to accommodate the project management processes to the ISO 9004 norm is given. ISO 9004 covers the guidance on quality in a project product-related processes and on the process approach.

Since ISO 10006:2003 is a guidance document, it is not intended to be used for certification purposes.

2.3 IPMA®

In 1965 a group of people created a forum for project managers to network and share information. The result was IPMA (International Project Management Association), the world’s first project management association. Since then, IPMA® has grown and spread in more than 50 countries. IPMA® is an international network of project management associations. Over the years IPMA has developed a certification program and promoted the progress of project management. There are four certification levels for managers <<http://www.ipma.ch/SiteCollectionDocuments/Certification%20folder.pdf>>: Level A: Certified Projects Director - proves the ability to manage complex project portfolios and programs; Level B: Certified Senior Project Manager - certifies a minimum of five years of experience and proves the ability to manage complex projects; Level C: Certified Project Manager - proves a minimum of three years of experience and certifies the ability to manage projects with limited complexity; Level D: Certified Project Management Associate - certifies the ability to apply project management knowledge when working in a project.

This association is mainly promoting competencies to which it refers to as **ICB - IPMA Competence Baseline**. The ICB Version 3.0 provides the organization official definition of the competences expected from personnel project according to the IPMA® certification. It appeals to all project members, as well as students or lecturers interested in the discipline of project management. It can be used for project management development, project management training and as a baseline in recruiting project management professionals. ICB (2006) is introducing the concept of “the eye of competence” which represents “the integration of all the elements of project management as seen through the eyes of the project manager when evaluating a specific situation. The eye represents clarity and vision” (see Figure 4).

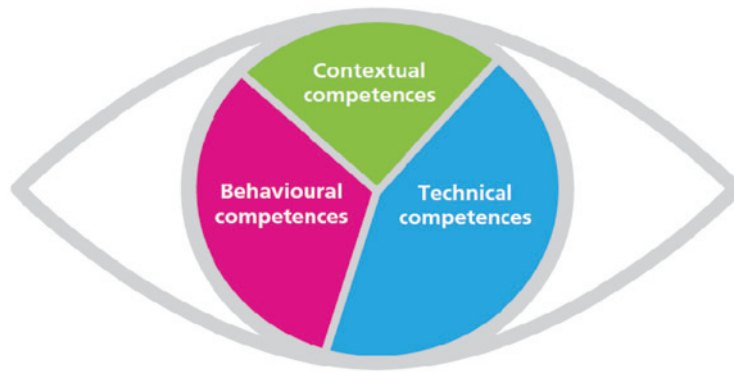


Figure 4 - IPMA-ICB Eye of Competence

In order to avoid conceptual misunderstanding, let us give some references about the content each one of the above exposed competences is referring to. The contextual competences are related to project, program and portfolio orientations and implementation, organization, business, systems, products and technology, personnel management, health, security, safety and environment, finance and legal issues. The behavioral competences relate to leadership, motivation, self-control, assertiveness, relaxation, openness, creativity, results orientation, efficiency, consultation, negotiation, conflict and crisis, reliability, values appreciation and ethics. When talking about technical competences, we should think about project management success, interested parties, project requirements and objectives, risk, quality, project organization, teamwork, problem solution, project structures, scope and deliverables, time and project phases, resources, cost and finances, procurement and contract, changes, control and reports, information and documentation, communication, start-up and close-out.

2.4 PMBOK® Guide

This standard has been developed by the PMI - Project Management Institute <<http://www.pmi.org>>. This is a non-profit professional association, with the primary goal to advance project management practice, science and profession throughout the world in a conscientious and proactive manner so that

organizations everywhere will embrace, value and utilize project management. Founded in 1969 by working project managers, PMI presently counts with more than 500,000 members and credential holders, organized in “chapters” in more than 200 countries.

Since 1984, PMI has been dedicated to developing and maintaining a rigorous, examination-based, professional certification program to recognize the achievements of individuals. In 1999, PMI became the first organization in the world which Certification Program attained the International Organization for Standardization (ISO) 9001 recognition. PMI credentials can help business professionals start, build or advance their careers in project, program and portfolio management. There are five certification programs: Certified Associates in Project Management (CAPM)®, Project Management Professionals (PMP)®, Program Management Professionals (PgMP)®, PMI Risk Management Professional (PMI-RMPSM), PMI Scheduling Professional (PMI-SPSM). The CAPM® holders understand the processes and terminology, have a fundamental knowledge of the PMBOK® Guide, demonstrate knowledge of project management practices and contribute to project team as Subject Matter Experts. The PMP® certification is the preeminent professional credential for individuals which, associated with project management and the certified PMP®, is responsible for every aspect of the project. It is responsible for leading and directing cross-functional teams to deliver projects and demonstrating sufficient knowledge and

experience to apply a methodology to projects. This would correspond to Level C certification of the IPMA®. The certified PgMP® is responsible for achieving an organizational objective by overseeing a program that consists on multiple projects. It should be able to define, initiate projects, assign project managers to manage cost, schedule, performance and maintain alignment of program scope with strategic business objectives. The PMI-RMPSM provides expertise in the specialized area of assessing and identifying project risks, along with plans to mitigate threats and capitalize opportunities. It also provides expertise in the specialized area of developing and maintaining the project schedule. The last two certifications are the result of a specific request coming from the Asian market.

PMI is developing a World Wide network of Registered Education Providers (R.E.P) which consists of training organizations, executive development centers at universities and in companies that provides quality project management training services. Their educational offerings have been assessed by PMI. Only courses offered by R.E.P.s are pre-approved by PMI as meeting the requirements for either attaining or maintaining PMI's professional credentials. There are more than 1,300 organizations that belong to the Registered Education Provider Program (R.E.P.) in over 70 countries. These organizations include commercial training providers that design complete educational systems, academic institutions, internal training offices at corporations and government agencies and non-profit PMI practitioner groups.

PMI produced 12 Global Standards in order to ensure a basic project management framework applied consistently worldwide. These standards are grouped into five themes reflecting the expansive nature of the project management profession: projects, programs, people, organizations, profession. It is definitely the biggest project management association in the world and, in practical terms, the one whose standards are the most widely implemented in the world. For example, the most famous standard developed by the

PMI, now in its fourth edition, which can be found between the standards associated to the projects theme, is the PMBOK® Guide (Project Management Body Of Knowledge), a guide with more than 3 million copies in circulation.

The PMBOK® considers there are five project management processes (Initiating, Planning, Executing, Monitoring and Controlling, Closing) and nine knowledge areas (Integration, Scope, Time, Costs, Quality, Risks, Human Resources, Communication and Procurements). The processes interact and overlap continuously, and the knowledge areas must be specifically managed within these processes during the project life cycle. Since its first version in 1996 and up to the fourth edition in the end of 2008, PMBOK® has been continuously updated following a periodic four years updating cycle policy, promoted by the PMI to all its standards. The essence of the processes, the good practices described in PMBOK® and the overhaul concept this standard is based on are related to the famous PDCA cycle (DEMING, 1986). The PDCA (also known as Deming cycle or PDSA cycle – see Figure 5) is a continuous quality improvement model based on an iterative four steps problem solving process, which is able to move from a “problem-faced” to a “problem-solved” situation. A brief description of these steps would be: Plan – plan ahead for change, predict results, Do – execute the plan using small steps in controlled circumstances, Study or Check – analyze the results, Act – take action to standardize or improve the process.

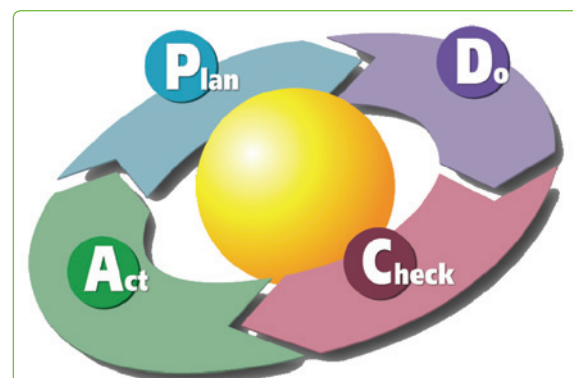


Figure 5 - PDCA cycle <<http://www.anythingresearch.com/Strategic-Planning/PDCA-Plan-Do-Check-Act.htm>>

In Figure 6, we may see the typical PMBOK® scheme which relates the five management processes (Initiating, Planning, Executing, Monitoring and Controlling, Closing) to the PDCA cycle: P for Planning, D for Executing, CA for Monitoring and Controlling.

3 THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT

In the previous chapter, some of the most important project management frameworks have been described. All these standards are evolving and getting more and more adepts every day from both

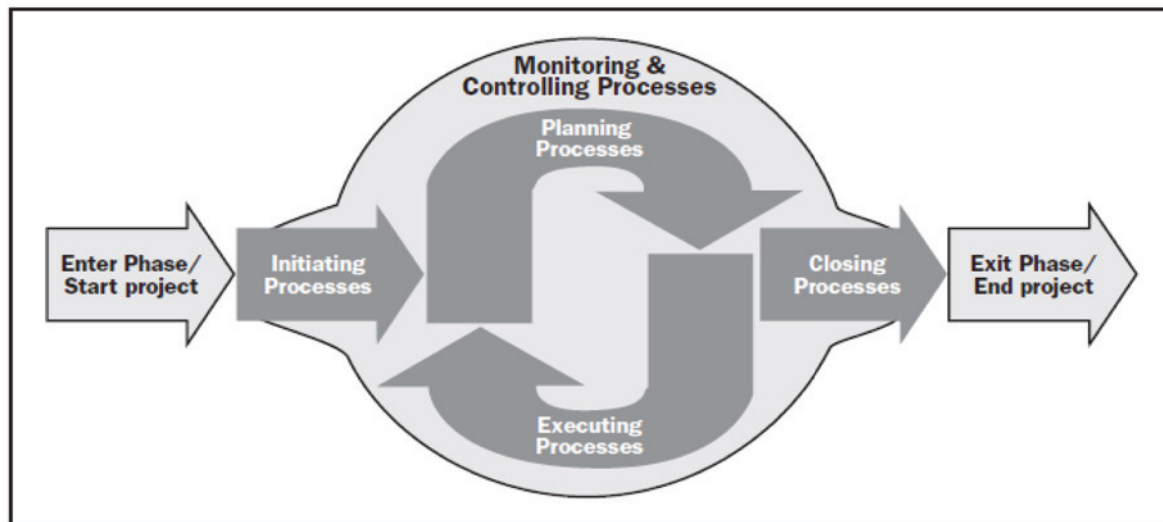


Figure 6 - Project Management Process Groups and their association to the PDCA cycle (PMBOK® GUIDE, 2008)

As defined by PMBOK® Guide (2008), this is “a recognized standard for the project management profession”. The main purpose of this standard is to identify the “subset of project management body of knowledge generally recognized as good practice”. When referring to “generally recognized”, this means “the knowledge and practices described are applicable to most projects most of the time, and there is consensus about their value and usefulness”. Also the PMBOK® Guide “provides and promotes a common vocabulary within the project management profession for discussing, writing, and applying project management concepts”. Still, there is an important warning related to the uniformity of the application of these good practices: the organization and the project management team are “responsible for determining what is appropriate for any given project” (PMBOK® GUIDE, 2008).

companies and individual professionals. The project management international community is a fact and although there are still opponents to project management as a science and a profession, the good results projects driven by certified project managers are generating a clear argument against detractors. Applied on time, even simple project management concepts may help taking a better direction than in case of a complete lack of information related to management issues.

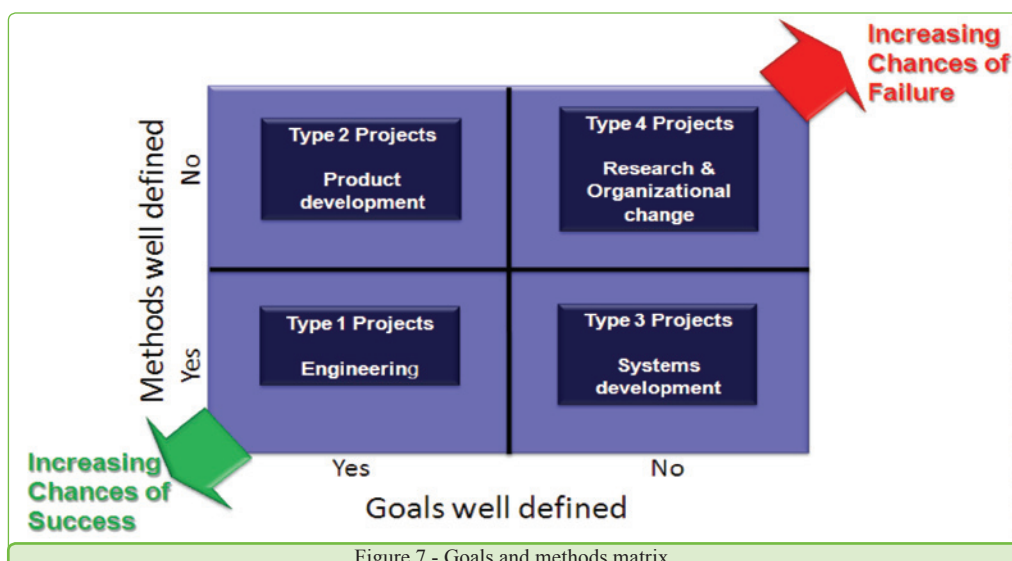
Before continuing with a brief presentation of some study results related to the perception of the project management value, let us comment a simple example on how basic project management knowledge can help us to get a first place orientation over which one could be the way to proceed in a completely new project. This example is depicted in Figure 7, where an adapted image of the so called “Goals and Methods Matrix” is presented. This matrix is a famous concept in project management,

introduced by Turner and Cochrane in 1993 in order to offer a way to assess the potential complexity of a project. The concept is that the projects may be grouped in four types depending on their goals and on the methods used to manage them. The combination of these two characteristics will place the project closer to success or failure. From this matrix we could assess if a project is well defined or if it is in the situation so called “fuzzy project”, i.e. a project that has unclear goals. In this case, it is required to dedicate some time to define the project.

When the goals are well defined and clear to everybody concerned (type 1 and 2 projects, like engineering, construction or new product development projects), from the very beginning of the project, it is simply a case of finding an appropriate method in order to prepare a basis for the project success. In this case the project manager knows that by approaching one of the frameworks described above, he will briefly be able to keep the project under control.

Sometimes goals keep moving, such as the case of applications and software development due to changes in client requirements and/or technology (type 3 and 4 projects). In these projects, the initial effort should be to define and agree over initial objectives. The next step should be to setup an appropriate project change

management and tracking system, since we know there is high potential of changes during the project. If goals are “fuzzy” as it is often the case when organizational change and research projects are involved, we must spend time to define the project before we can start to plan it. “Fuzzy” projects are projects with vaguely defined goals. For example, a goal such as “the need to create a culture of scientific research in an organization” is more like an overhaul strategic vision than a clear goal that can be translated into clear project objectives. We cannot plan the project until the “fuzzy” goals have been clarified and understood by all concerned by the project. Clarifying “fuzzy” goals requires that everybody understands the meaning of the project objectives and that these objectives are SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Time limited). Only after clarified goals, the project is able to be planned and managed. Note that the process of clarifying “fuzzy” goals might result in the definition of more than one project. In projects so-called soft projects, such as organizational change or research projects, it is often necessary to define and implement several projects, in order to deliver the original project goal that was “fuzzy”. Once objectives are clear and agreed and projects have been defined, the projects may be planned and managed approaching one of the frameworks described above.



As mentioned before, this is just a simple example of how one could apply basic project management knowledge in order to be able to develop a complete strategy related to how he could start to manage a project. Since it is not the purpose of this article to detail project management techniques nor to present business case studies but only to give a first quick overlook of the project management environment for technical and scientific individuals, we will close here the example. Next paragraph, we will draw some conclusions related to how the value of project management is perceived World Wide.

PMI dedicated an important research effort in order to get the status of project management implementation in companies all over the world and the feedback related to the demonstrated value of project management good practices. By the end of 2008, the report “Researching the Value of Project Management” was published as the result of a three-year US\$ 2.5 million effort across five continents. A team of 48 people conducted more than 65 case studies using hundreds of interviews and questionnaires at large and small businesses, governments and not-for-profit organizations. A distribution of case organizations by industry is presented in Figure 8 (RESEARCHING THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT, 2008).

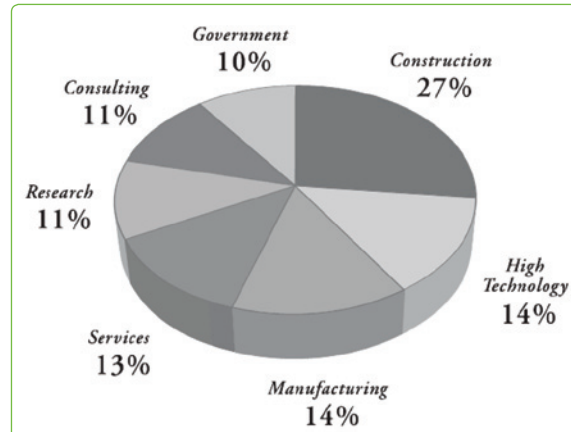


Figure 8 - Distribution of case organization by industry (RESEARCHING THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT, 2008)

The conceptual model used to define value is presented in Figure 9 (RESEARCHING THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT, 2008). Business orientation and environment are considered to determine project management implementation which is adapted to the organizational context. All these attributes must fit in order to generate a certain final value which may be identified throughout process and outcome criteria.

The most important outcomes the team identified came from the diversity of the data; as a first issue, organizations identified more kinds of value from project management than the research group had expected. This observation induced to the conclusion there would be no

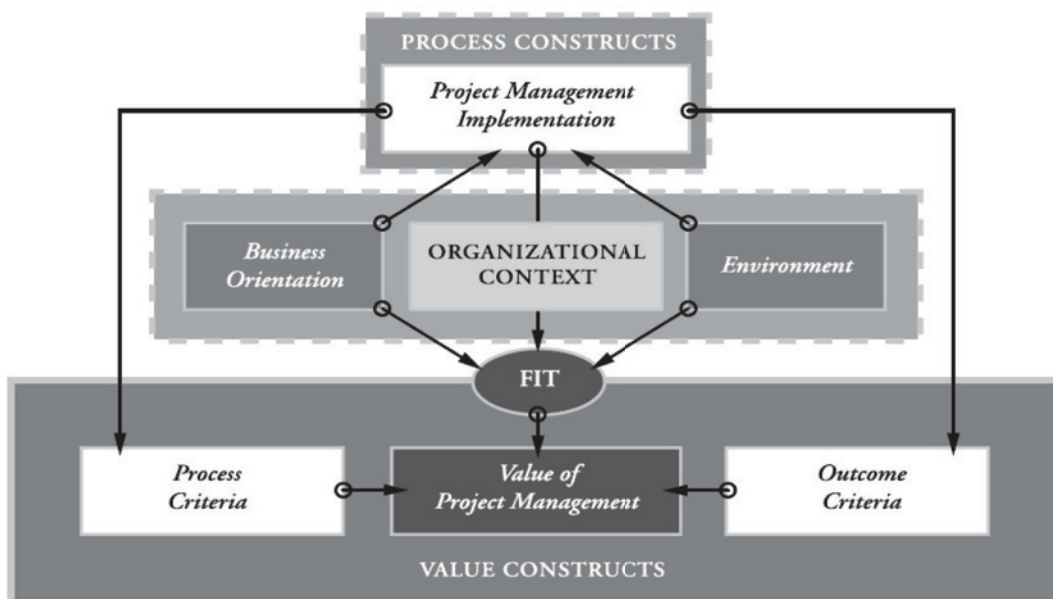


Figure 9 - Conceptual model for Value (RESEARCHING THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT, 2008)

simple “value formula” linking a certain amount of dollars invested in project management to the amount of dollars in additional revenue. The second issue was related to the fact the results were strongly affected by how well the implementation of project management was adapted to a specific organization project types, its tolerance for risks, overall growth or shrinkage in its market sector, whether private or governmental, and other factors. The fitting aspect was at least as important as the variables the researchers had expected (methodology, type of training, experience level, etc.).

The gathered data showed improvement in successful project execution and satisfaction to all concerned, but those were not usually quantified in money. Those values fell into two categories. One was integration: better communication and coordination, breaking down silos and alignment of projects and programs with strategy. The other was organizational learning: innovation, improved change management and more successful “hand-off” from development projects to operations.

Now the importance of adapting project management to its context may sound quite obvious. But any experienced project manager knows that no single toolkit or approach works for all types of organizations. Actually the study suggested that context can matter even more than method. Based on this observation, “fit” is considered by the PMI as the influencing aspect for new training approaches, new ways of looking at standards and new organizational assessment tools.

Finally, the better we understand the factors affecting fit, the specifics of an organization culture, what the organization wants from project management and the capacity for an ongoing commitment, the more effectively we can use tools and good practices described by standards. (PMI, 2008).

4 CONCLUSIONS

In this article, some project management concepts were pointed out and some considerations were made in

order to emphasize the professional project management need for technological projects. It must be understood the efficiency of a project is not given by the highly qualified technical resources but by an efficient project management. Without a proper management high value, technical and scientific advances are condemned to be lost forever. Companies urge to invest in training and to introduce project management frameworks in order to increase their projects success rate and avoid failure.

Being the top technical specialist in a company is not a warranty for being a good project manager. Managing people and project situations are very different from making things. The basic issue is to switch from making things to make things happen, which is one of the most difficult obstacles to overcome. It is urgent to all technical experts to keep an eye opened to the communication management issues since modern times require complex projects. Isolated technical work would not contribute to personal motivation nor to the understanding of the whole technical product and its value for society.

Nowadays global aspects should be always considered. The adoption of project management frameworks and the recognition of the demonstrated increasing value of professional project management represent a challenge for all companies and their employees, especially in the context of the actual international economic crisis. Technology and proper professional project management should work close in companies where efficiency in processes and increase of incomes are expected to be produced.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to thank the organizers of the Congresso Científico da Semana Tecnológica – IFSP who gave him the chance to participate and express his thoughts, especially Dr. Ecio Duarte, a dear friend, who motivated the writing of this article as a trial approach and an introduction to some of the

issues in project management offered to the technical and the scientific society.

REFERENCES

A GUIDE TO THE PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE (PMBOK® Guide). 4th ed., 2008, <<http://www.pmi.org>>.

CHAOS Summary 2009. Standish Group, 2009. <http://www1.standishgroup.com/newsroom/chaos_2009.php>.

DEMING, W. E. *Out of the crisis*. MIT Press, 1986.

ICB – IPMA Competence Baseline, Version 3.0. IPMA, 2006.

IPMA®. <<http://www.ipma.ch/about/pages/default.aspx>>.

MULCAHY, R. *PMP® Exam prep*, 6th ed. RMC Publications, 2009.

NEAMTU, L *La gestión de proyectos en la organización*. Master in Project Management course notes, La Salle BES, URL, Barcelona, Spain, 2009.

NEAMTU, L. *El valor de la direccion de proyectos*. Barcelona, Spain: PMI Barcelona Chapter, 2009.

PRINCE2®. <<http://www.prince2.com>>.

RESEARCHING THE VALUE OF PROJECT MANAGEMENT, PMI, 2008.

TURNER, J. R.; COCHRANE, R. A., Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of Project Management*, vol. 11, nº 2, maio 1993, p. 93-102.

MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DE COMPONENTES EM SISTEMAS CAD 3D COM A UTILIZAÇÃO DE GEOMETRIAS PARAMÉTRICAS

José Orlando Balastrero Junior¹
Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes²

A utilização de ferramentas computacionais para modelagem de peças (sistemas CAD) faz parte da realidade da maioria dos setores de desenvolvimento de produtos das empresas. Os sistemas CAD 3D auxiliam na visualização, simulação e análise do comportamento do protótipo digital sob condições reais, antes mesmo da construção do produto ou da peça, permitindo que os fabricantes lancem produtos com maior rapidez e menor quantidade de protótipos físicos. Uma das vantagens na utilização de sistemas CAD 3D é a parametrização dos modelos, o que possibilita ganho de tempo durante as modificações do projeto e a validação de novos produtos. Este trabalho apresenta as formas de aplicação de geometrias paramétricas na otimização do tempo de desenvolvimento de um projeto. A validação do projeto foi feita através da Análise por Elementos Finitos (FEA), que possibilitou estabelecer um coeficiente de segurança aceitável para o mesmo com redução do seu peso final.

Palavras chaves: CAD 3D. Parametrização. Elementos finitos. Projeto.

The use of computational tools in modeling of parts (CAD systems) is common in the reality of the majority of the companies product development sectors. CAD 3D systems assist in the visualization, simulation and analysis of the digital prototype behavior under real conditions, even before the fabrication of the product or of the part, which allows that the manufacturers launch products faster and with minor amount of physical prototypes. One of the advantages in the use of CAD 3D systems is the parametrization of the models which allows time profit during the project modifications and validation of new products. This work presents the modes of parametric geometries application in time optimization when developing a project. The validation of the project was made through Finite Elements Analyses (FEA), which allowed to establish an acceptable security coefficient with reduction of its final weight.

Keywords. CAD 3D. Parametrization. Finite elements. Project.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início do processo de substituição das pranchetas de desenho por computadores equipados com sistemas CAD (Desenho Assistido por Computador), entre os seus usuários já havia a percepção da necessidade de evolução destes sistemas a fim de se

atender requisitos para a redução do tempo dedicado ao projeto, as alterações necessárias e ao próprio desenvolvimento de produto, otimizando todas as etapas envolvidas desde a concepção inicial até os desenhos bidimensionais (2D), destinados à confecção de protótipos físicos e dos produtos finais (PERES, 2007).

1 Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Bragança Paulista – Engenharia de Controle e Automação. E-mail: <orlandob@ifsp.edu.br>.

2 Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista (FEG-UNESP) – Campus Guaratinguetá - Universidade de Taubaté (UNITAU) – Departamento de Engenharia Mecânica. E-mail: <luiz@unitau.br>.

Os sistemas CAD atuais permitem desenvolvimento de projetos tridimensionais (3D), atribuindo propriedades físicas como massa, volume e centro de gravidade. Estes sistemas geram, posteriormente, e de forma automática, vistas, cortes, perspectivas e demais informações necessárias, tais como lista de peças e componentes de uma montagem. Estabelecem uma associação entre o modelo 3D e os desenhos em 2D, destinados à fabricação, permitindo que qualquer alteração realizada no modelo tridimensional implique na atualização imediata de todos os desenhos no ambiente 2D. Com estes recursos, é possível reduzir drasticamente o tempo destinado às alterações no projeto, facilitando o desenvolvimento de novos produtos e aumentando a competitividade das empresas pela redução dos custos desta etapa do desenvolvimento (PAHL, 2005).

Outro recurso disponível nos sistemas CAD 3D é a modelagem de objetos com o uso de geometrias paramétricas. Geometria paramétrica é um conjunto de entidades (linhas, arcos, círculos, etc.) que possuem relações entre si, definidas matematicamente e que determinam a forma, as dimensões e a intenção de projeto, servindo como a base para o modelamento de um determinado objeto. Estas relações permitem que alterações dimensionais ou do perfil geométrico do objeto modelado possam ser executadas de uma forma muito simples e objetiva. Alterando-se o valor atribuído a uma variável principal, as demais dimensões que estão parametricamente vinculadas a esta são, também, alteradas, assim como os desenhos 2D associados a este modelo tridimensional (DOTSON, 2008).

Este trabalho apresenta a modelagem de várias configurações de um mesmo objeto (protótipo digital) com a utilização dos recursos de parametrização de dimensões como ferramenta para facilitar a atividade de projetos industriais. Para a obtenção dos dados e a validação do protótipo digital, foi empregado o método de Análise por Elementos Finitos (FEA). O sistema CAD

3D utilizado neste trabalho foi o Autodesk® *Inventor*™, que é um modelador de sólidos paramétricos que incorpora o módulo otimizado de Análise por Elementos Finitos baseado no *software* ANSYS®. Este módulo é destinado a determinar, através de métodos numéricos, as tensões, o coeficiente de segurança e as deformações sofridas por um objeto quando submetido a um esforço solicitante.

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A peça selecionada para este estudo é ilustrada na Fig. (1), cujo desenho esquemático, de acordo com Silva (2006), contém suas dimensões básicas. Esta peça possui a função de apoiar um equipamento de medição sobre um barramento guia, que orienta a sua trajetória, a fim de executar controle dimensional do perfil geométrico de peças fabricadas em um centro de usinagem, controlado por Comando Numérico Computadorizado (CNC).

O objetivo é obter a redução de 20% da massa da peça, com a remoção de material de regiões fracamente tensionadas, segundo critérios citados por Collins (2006), porém mantendo-se o valor da deformação máxima em 0,020mm, quando submetido ao esforço, conforme especificações de projeto, com a finalidade de se garantir a confiabilidade das leituras obtidas, pelo equipamento e pela medição. Esta redução irá se somar à dos demais itens integrantes do equipamento, a fim de contribuir para a diminuição da inércia do sistema, que é movimentado através de um conjunto composto por um fuso de esferas, acionado por um servomotor. A redução de 20% da massa da peça visa proporcionar o aumento da velocidade de deslocamento, sem alterações expressivas na energia cinética do sistema, elevando desta forma sua taxa de utilização e o aumento do índice de produtividade do conjunto, integrante de uma célula de manufatura.

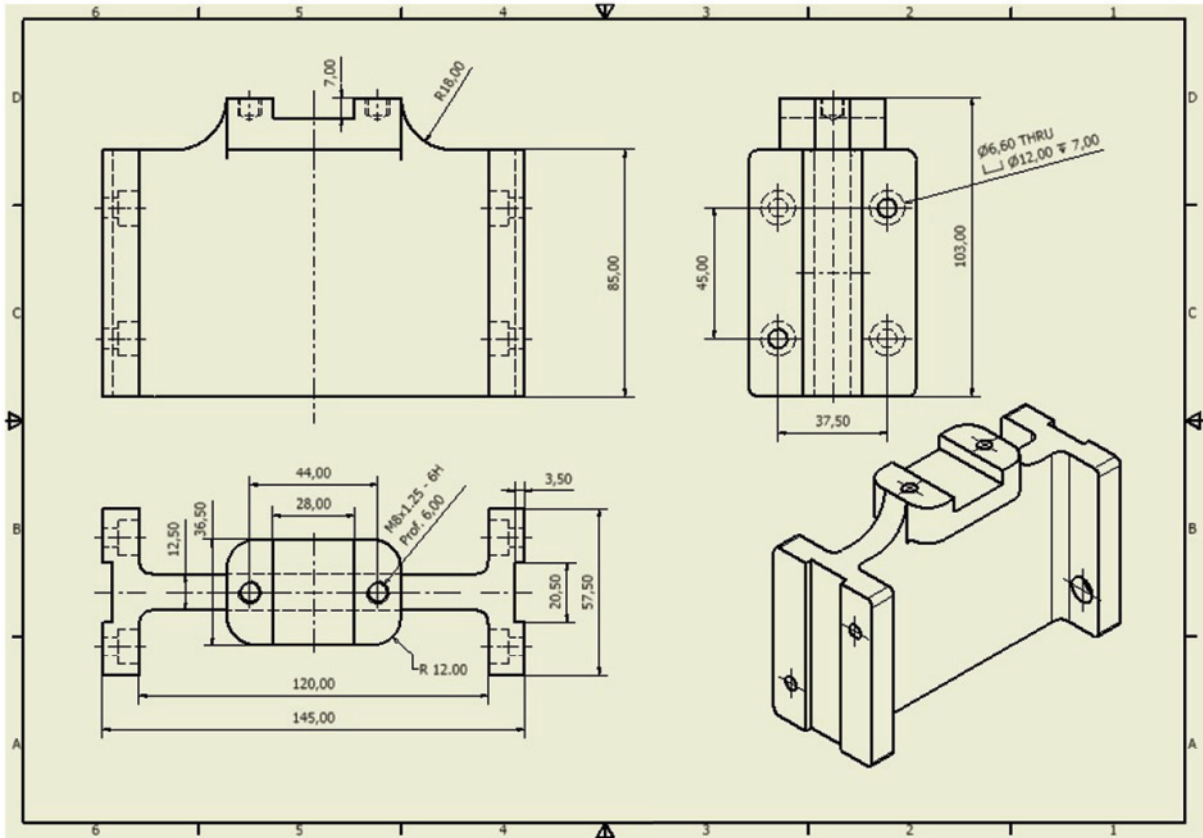


Figura 1 - Desenhos com dimensões básicas do componente

O material selecionado para a construção da peça foi o Alumínio ASTM 6061 T6, amplamente empregado nos meios estruturais, aeronáuticos e automobilísticos. De acordo com Chiaverini (1978) e Beer (1996), visando melhorar suas propriedades mecânicas, o material é tratado termicamente, através da solubilização dos seus elementos e com posterior envelhecimento artificial. As propriedades mecânicas deste material estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais propriedades mecânicas da liga de alumínio ASTM 6061 T6

Módulo de Elasticidade (Gpa)	69
Limite de Resistência à Tração (Mpa)	310
Limite de Resistência ao Escoamento (Mpa)	260
Coeficiente de Poisson	0.330

Este material e os dados referentes às suas propriedades estão disponíveis na biblioteca de materiais do sistema CAD

3D empregado, sendo que não houve a necessidade de inserção de nenhuma propriedade, nem mesmo a edição das propriedades existentes, que estão em conformidade com os valores apresentados nas normas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

3 ETAPAS DO PROCESSO DE PARAMETRIZAÇÃO

3.1 Modelagem paramétrica da peça

Na primeira etapa do trabalho, foi realizada a modelagem sólida da peça, empregando-se a parametrização das dimensões das geometrias dos furos (posicionamento e diâmetros).

O esboço preliminar do componente em 2D, em projeção frontal, é ilustrado na Fig. (2), na qual podem ser observadas as geometrias com a função de redução da massa do objeto.

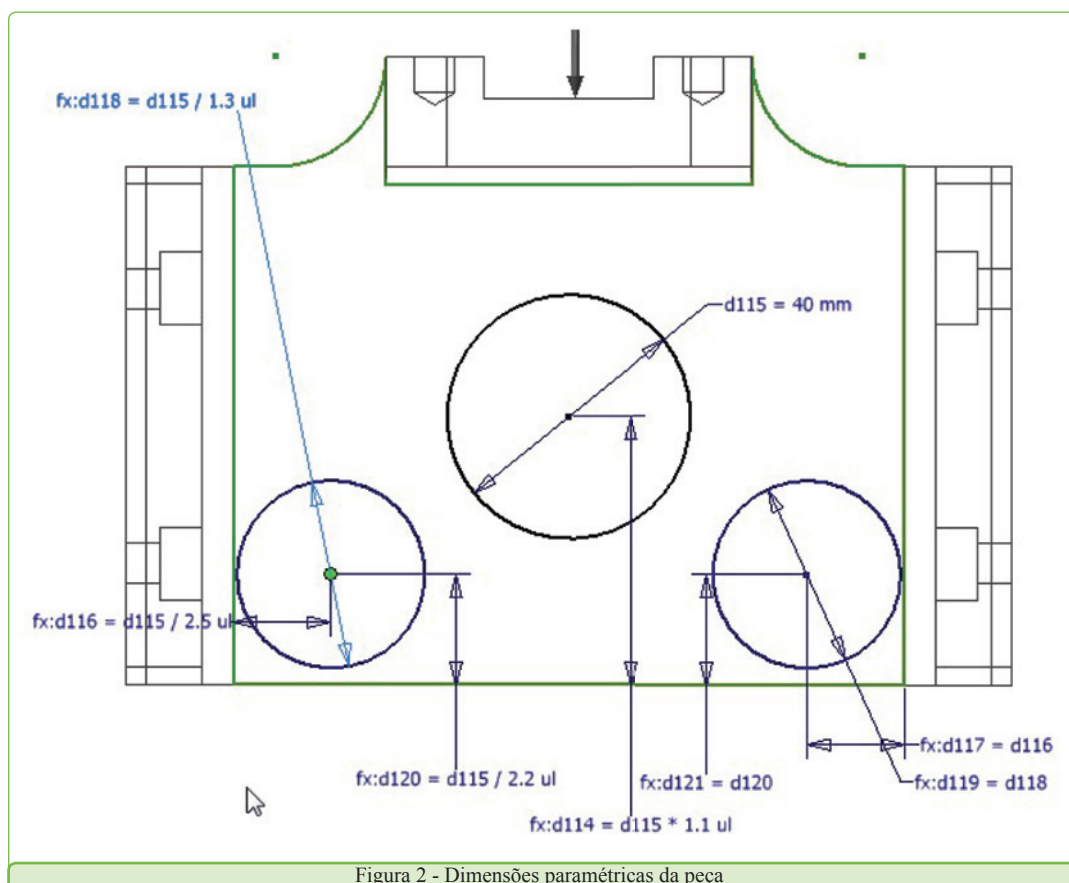


Figura 2 - Dimensões paramétricas da peça

A Tabela 2 contém as dimensões atribuídas às geometrias e as relações estabelecidas, de forma paramétrica, com a dimensão básica **d115**, a qual, por sua vez, irá determinar as demais, sendo a base para a geração do modelo sólido.

As relações paramétricas, entre as variáveis que definem as dimensões das geometrias empregadas, foram determinadas de acordo com critérios baseados nos

conceitos de resistência dos materiais, de acordo com Beer (1996) e Collins (2006), visando à distribuição de forma mais homogênea das tensões geradas pela aplicação do esforço e, também, garantindo um posicionamento mais adequado ao processo de fabricação. A escolha da variável básica num processo de parametrização deverá contemplar a sua relevância no conjunto com as demais variáveis.

Tabela 2 - Variáveis dimensionais das *Features* e suas relações paramétricas

Dimensões das Geometrias	Relações Paramétricas	Variável básica	Dimensão variável
Diâmetro - furo maior - central		d115	
Diâmetro - furo - lateral esquerdo	$d115/1.3 \text{ ul}$		d118
Diâmetro - furo - lateral direito	$d115/1.3 \text{ ul}$		d119
Distância do centro do furo central até a base	$d115 \times 1.1 \text{ ul}$		d114
Distância do centro do furo esquerdo até a base	$d115/2.2 \text{ ul}$		d120
Distância do centro do furo direito até a base	$d115/2.2 \text{ ul}$		d121
Afastamento do centro do furo lateral esquerdo	$d115/2.5 \text{ ul}$		d116
Afastamento do centro do furo lateral direito	$d115/2.5 \text{ ul}$		d117

3.2 Modelagem sólida automática

Definidas as relações paramétricas, a próxima etapa é a modelagem sólida automática de diversos conjuntos de geometrias, na peça, e a determinação de sua massa. Na Figura 3 é visto o modelo sólido, em sua geometria original, sem as geometrias para a redução de massa, como é atualmente usado no equipamento.

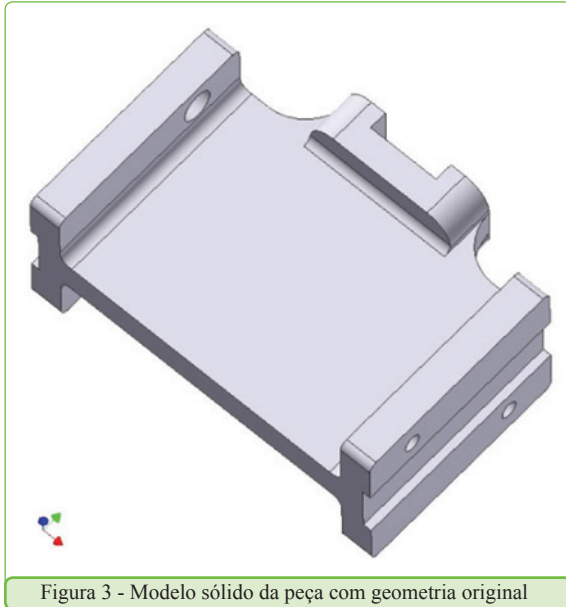


Figura 3 - Modelo sólido da peça com geometria original

Nesta etapa foi utilizado o ambiente de Análise de Tensões, integrado ao sistema CAD 3D. Neste ambiente foram determinados a Tensão Equivalente, as deformações sofridas e o coeficiente de segurança, aplicando-se uma carga de 3kN na forma de carregamento estático, sendo esta 25% superior à máxima com que a peça poderá receber em serviço.

Na configuração inicial do componente, sem as geometrias, foi verificado que a deformação total foi cerca de 0,008 mm, sendo bem menor que o valor tolerado pelas especificações iniciais do projeto.

A metodologia adotada foi atribuir valores numéricos à variável básica **d115**, estabelecendo intervalos sucessivos de 2mm (melhor mapeamento), em seguida, gerar automaticamente os sólidos correspondentes e fazer a Análise por Elementos Finitos a fim de se determinar as tensões e deformações dos modelos obtidos, por fim, coletar os dados e inseri-los em uma

planilha, que será a base para a definição de um novo perfil para o componente, após a análise dos resultados obtidos.

A Figura 4 ilustra o sólido obtido, na atribuição do valor de 50,00 mm à variável básica **d115**, atingindo o objetivo estipulado. Nesta mesma Figura, pode-se verificar o aumento significativo da dimensão das geometrias, com variação de forma paramétrica, a interação com a dimensão básica e a consequente diminuição da massa da peça.

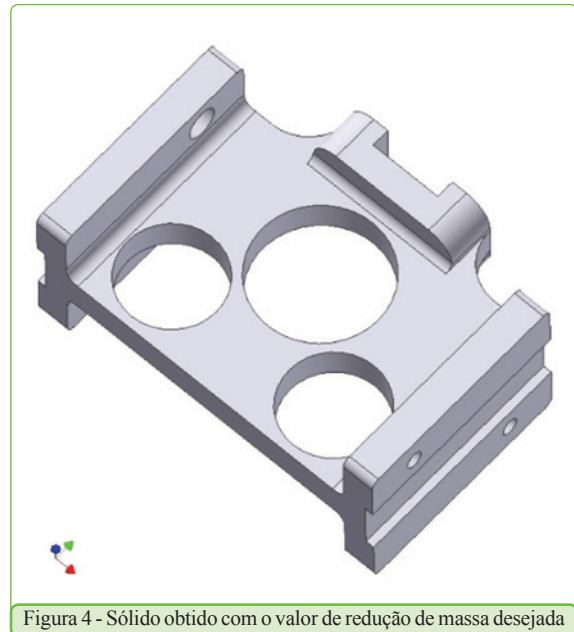


Figura 4 - Sólido obtido com o valor de redução de massa desejada

Os resultados das análises são apresentados de forma gráfica pelo programa. Escalas de cores são atribuídas para o mapeamento dos campos de tensões, deformações e coeficiente de segurança, distribuídos pelas regiões do modelo analisado. A partir dos dados obtidos, é criado um relatório final para cada análise, sendo esta a principal fonte de informações para a avaliação dos resultados finais obtidos.

Na Figura 5 é ilustrado o resultado das tensões de *Von Mises*, que, segundo Cruz (2008), indica as tensões médias nas regiões da peça sujeitas, simultaneamente, à tração e compressão, recebendo a denominação de *Equivalent Stress* atribuída pelo sistema usado. Também se pode observar a densidade da malha dos Elementos Finitos gerados, apresentando a forma tetraédrica, que é, segundo Filho (2006) e Hartmann (2007), determinada em função do tipo de geometria do

sólido analisado. Neste caso, esta determinação é realizada de forma automática pelo programa, através de um algoritmo de otimização, que extrai todos os dados necessários do modelo CAD 3D.

Os resultados podem ser visualizados na forma gráfica, numa escala de cores, na qual a cor vermelha indica o valor máximo da tensão média desenvolvida, estando seus valores em torno de 15,70Mpa, muito abaixo das tensões limites de ruptura e de escoamento do material. A cor azul representa as regiões onde o material está fracamente tencionado, com valores próximos a zero Mpa. Nestas regiões estão

posicionadas as geometrias, para a remoção de massa, de acordo com os critérios expostos por Collins (2006), como já foi apresentado.

Na Figura 6, podemos observar a distribuição das deformações pelas regiões da peça, tendo os seus valores indicados, também, pela escala de cores. O vermelho está relacionado à área onde ocorreu a maior deformação, com valores próximos a 0.015mm, neste caso, menor que a estabelecida como a máxima, e o azul escuro indica regiões onde a deformação é praticamente nula.

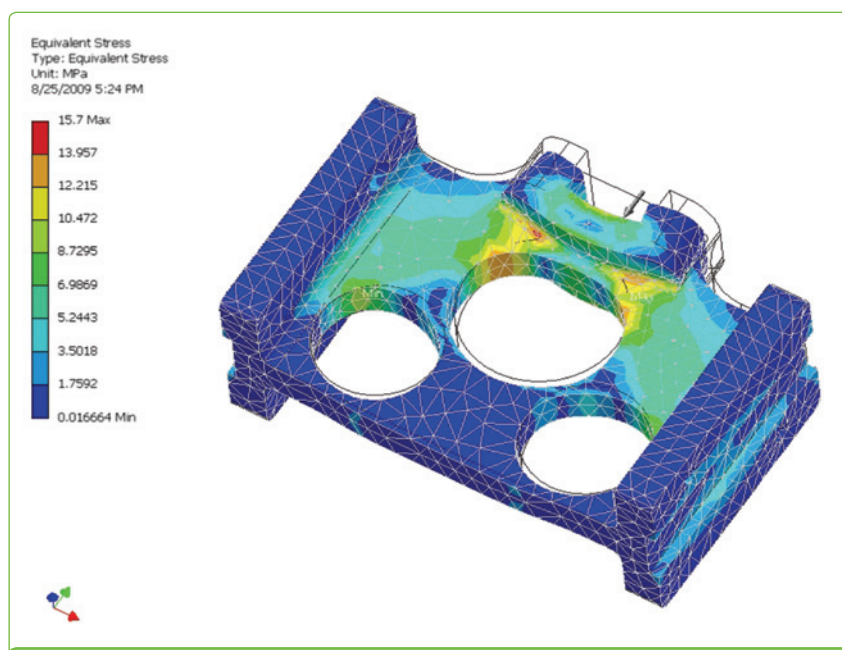


Figura 5 - Visualização das Tensões Médias (Von Mises)

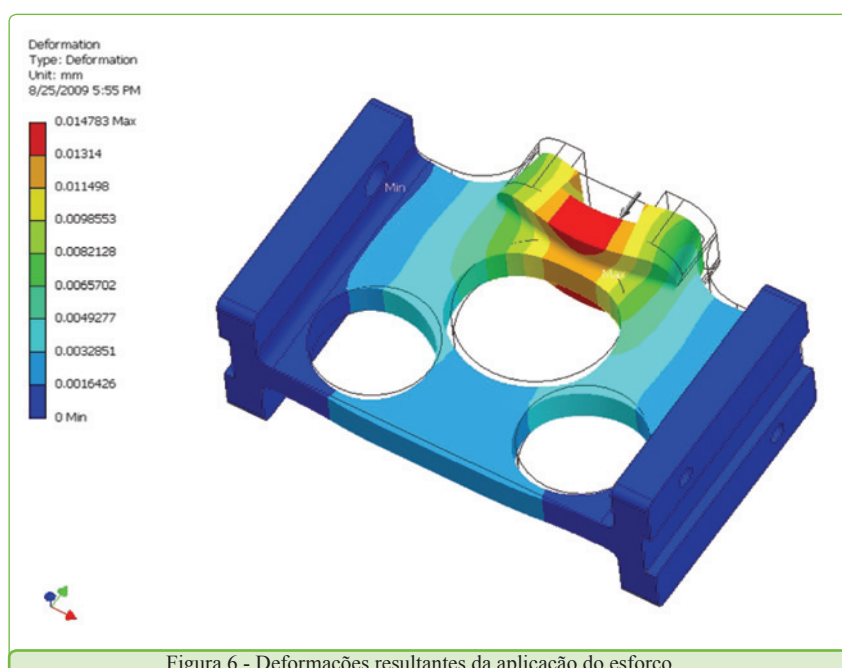


Figura 6 - Deformações resultantes da aplicação do esforço

O fator de segurança k possui o seu valor determinado nas diretrizes iniciais do projeto e também se pode observar o seu comportamento, durante a aplicação do esforço solicitante. A Figura 7 mostra um coeficiente igual a 15, valor máximo presente em todo corpo da peça.

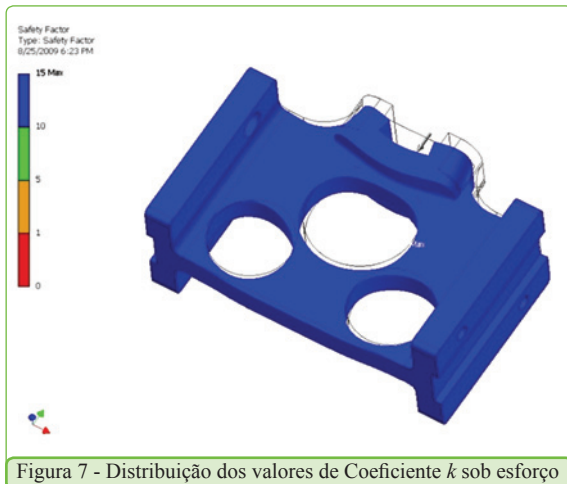


Figura 7 - Distribuição dos valores de Coeficiente k sob esforço

4 RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura 8 pode-se verificar a elevação das Tensões Médias, com o aumento da porcentagem de redução da massa e a consequente diminuição das áreas sujeitas aos esforços.

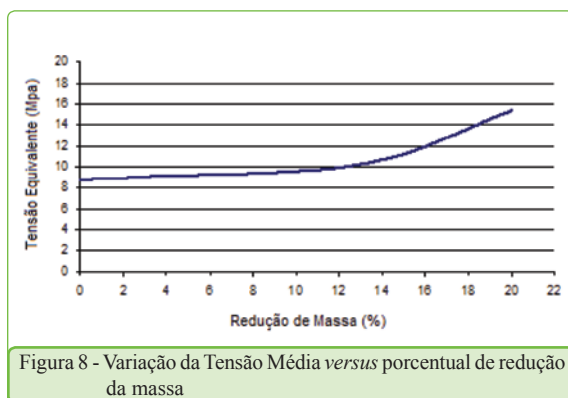


Figura 8 - Variação da Tensão Média *versus* percentual de redução da massa

A partir do valor de 12% há uma elevação mais significativa dos valores das Tensões Médias, porém com valores muito menores que a tensão de alongamento do material, conforme Tabela 2.

De acordo com as diretrizes iniciais do projeto, a deformação máxima tolerada não deverá exceder o valor de 0,020 mm sob as condições de esforço previsto.

Verifica-se, na Fig. 9, que os valores de deformação obtidos não atingem o valor de deformação limite tolerado. Com a máxima redução de massa, os valores previstos estão na faixa de 0,015 mm.

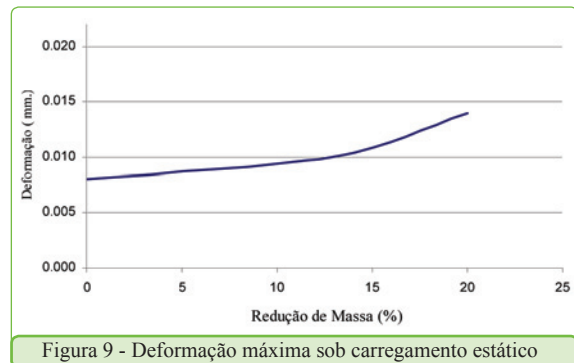


Figura 9 - Deformação máxima sob carregamento estático

O percentual de redução da massa do componente segue um padrão proporcional ao valor atribuído à dimensão paramétrica, que é a base para a variação dimensional das demais geometrias criadas na peça, como objetivo de se atingir a redução preterida. Este comportamento pode ser observado na Fig.10, onde se pode observar a evolução do percentual de redução em função do valor atribuído à dimensão paramétrica.

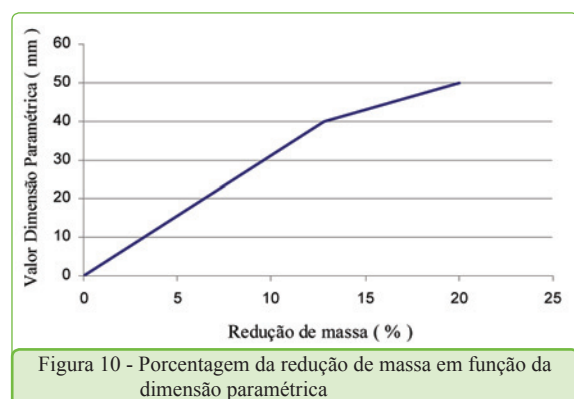


Figura 10 - Porcentagem da redução de massa em função da dimensão paramétrica

Na Fig. 11, observa-se que o fator de segurança k permanece estável no valor 15, estando acima do valor 12 estipulado nas condições iniciais para o projeto da peça.

Esta condição nos permite concluir que, mesmo com a redução de massa e o consequente aumento das tensões, geradas internamente, o componente suportará de forma satisfatória o esforço a que será submetido, com a deformação dentro dos limites estabelecidos, garantindo a rigidez necessária para o desempenho da função do equipamento.

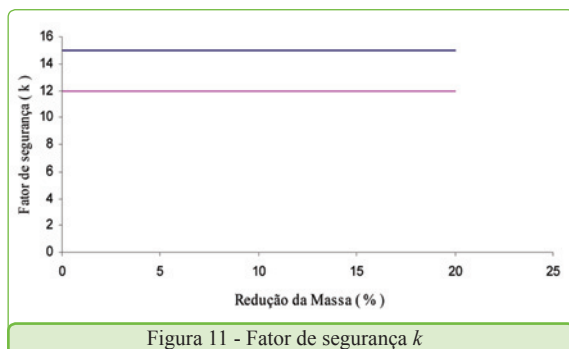


Figura 11 - Fator de segurança k

Os dados e parâmetros finais das análises executadas estão contidos na Tabela 3, mostrada a seguir.

Tabela 3 - Resultados estruturais e parâmetros adotados

Denominação	Valores
Número de Nós	6386
Número de Elementos	3120
Tensão Média Máxima (Mpa)	15,43
Deformação Máxima (mm)	0,0145
Fator de Segurança	15,00

5 CONCLUSÃO

Por intermédio da Análise por Elementos Finitos, determinou-se o comportamento estrutural de um componente que possui uma forma geométrica complexa. Para tal, é imprescindível o completo conhecimento das propriedades físicas do material a ser empregado tais como módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, densidade, massa, condições de fixação, cargas e esforços atuantes.

Através dos resultados apresentados, determinaram-se as regiões do componente que

sofrerão as maiores solicitações e deformações, estabelecendo um conjunto de previsões de como o componente irá se comportar, quando sofrer a solicitação pela da carga atuante.

Desta forma, as devidas correções no projeto do componente puderam ser efetuadas ainda na fase inicial de desenvolvimento, propiciando uma economia de tempo e a consequente redução dos custos inerentes ao processo de modificações executados nas etapas mais adiantadas de projeto, as quais envolvem operações mais demoradas, dispendiosas e que implicam em alterações nos demais elementos que fazem parte do produto final. O emprego dos recursos oferecidos pelos módulos otimizados de Análise por Elementos Finitos, atualmente integrantes dos sistemas CAD 3D, apresentando uma interface amigável aos usuários, aliado à potencialidade da modelagem paramétrica, tem-se revelado um diferencial para elevar o poder competitivo das empresas, sendo um dos fatores decisivos para a redução de custos e diminuição dos prazos relacionados ao desenvolvimento de novos produtos. Desta maneira, a aplicação destes recursos eleva a capacidade competitiva das empresas, pelo desenvolvimento de produtos com excelência estrutural e a decorrente diminuição do ciclo de projeto.

REFERÊNCIAS

- BEER, F. P. *Resistência dos materiais*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1996.
- CHIAVERINI, V. *Tecnologia mecânica*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- COLLINS, J. *Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção a falha*. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2006.
- CRUZ, M. D. *Autodesk Inventor 2008: teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2008.
- DEREK, Y. H. *Mechanical engineering systems design handbook*. USA: CRC press, 2002.

DOTSON, S.; BOGAN, B. *Autodesk Inventor 2009 mastering*. USA: Sybex, 2008.

FILHO, A. A. *Elementos finitos: a base da tecnologia CAE*. São Paulo: Érica, 2006.

HARTMANN, F.; KATZ, C. *Structural analysis with finite elements*. USA: Springer, 2007.

PAHL, G.; BEITS, W.; FELDHUSEN, J. *Projeto na engenharia: fundamentos*

do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PERES, M. P.; HAYAMA, A. O. F.; VELASCO, A. D. *A parametrização e a engenharia*. Curitiba: Gráfica 2007.

SILVA, A. I. *Desenho técnico moderno*. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2006.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS: PROBLEMA DO PARAQUEDISTA EM QUEDA LIVRE

Tatiana Turina Kozama¹
Graziela Marchi Tiago²

Em diversas áreas como engenharia, física, entre outras, muitas de suas aplicações apresentam um conjunto de dados de uma variável medida e deseja-se descobrir uma tendência para estes valores ou uma função que melhor represente este conjunto de dados. Um dos métodos para se determinar a melhor aproximação para estes conjuntos de pontos discretizados é o método dos mínimos quadrados. A obtenção de uma função adequada que represente melhor as características do conjunto de dados é de extrema importância para que se possa fazer uma previsão de seu valor futuro ou mesmo para determinar funções mais simples que aproximem funções complicadas. Neste trabalho, foi estudado o problema de um paraquedista em queda livre. Dados experimentais da solução analítica do problema e do modelo empírico serão comparados ao ajuste pelo método dos mínimos quadrados. Os resultados demonstram a aplicabilidade e o bom desempenho do método dos mínimos quadrados.

Palavras chaves: Método dos Mínimos Quadrados. Queda-livre.

In many areas, such as engineering and physics, several applications involve a set of variable measurement data. Our objective is thereby to find a trend or a function which fits these data. One of the methods used to determine the best fit for these data is the Least Squared Method. It is extremely important to acquire an accurate function which best typifies the data so that it is possible to forecast their future value or even to establish a simpler function to substitute a complex one. In this work, a parachutist problem was considered as a case of study. Experimental data from the issue analytical solution and the empirical model will be compared to the fit using the Least Squared Method. The results show the good performance and the applicability of this method.

Keywords: Least Squared Method. Free fall.

1 INTRODUÇÃO

Em diversas áreas como engenharia, matemática, física, entre outras, a resolução de um problema começa com a modelagem matemática, que não é tão simples, dependendo da aplicação e da solução do problema modelado. Porém, existem muitos modelos matemáticos que não podem ser resolvidos exatamente. Em muitos destes casos, a única alternativa é desenvolver uma solução

numérica que aproxima a solução exata e represente fisicamente o problema em estudo.

Existem muitos tipos de métodos numéricos, e eles têm uma característica em comum: na maioria das vezes envolvem grande número de cálculos aritméticos. Hoje em dia, a disponibilidade muito difundida dos computadores e a parceria com métodos numéricos vêm tendo uma influência significativa na resolução moderna de problemas da engenharia, por exemplo.

¹ Aluna de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Guarulhos.

E-mail: <tatiana_kozama@hotmail.com>.

² Doutora em Engenharia Mecânica pela USP - Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo.

E-mail: <grazielamarchi@gmail.com>.

Embora as soluções analíticas ainda sejam extremamente valiosas tanto para trazer soluções quanto para fornecer uma visão geral dos problemas, os métodos numéricos representam alternativas que aumentam enormemente os recursos para confrontar e resolver problemas.

Assim, o computador e os métodos numéricos auxiliam nas soluções dos problemas complexos e mais tempo fica disponível para ser usado na formulação do problema e na interpretação da solução.

Além disto, os métodos numéricos são um veículo eficiente para o aprendizado e para o uso dos computadores, e reforçam o entendimento da matemática.

Com isto, o objetivo deste trabalho é fazer um estudo teórico e realizar a implementação de um método numérico, especificamente neste momento o método dos mínimos quadrados para casos lineares e não lineares. Para tanto, foi estudado o problema de uma paraquedista em queda livre, para a qual existe solução analítica conhecida, solução por um modelo empírico, e resultados experimentais. Assim, as comparações serão feitas usando o método dos mínimos quadrados e mostrarão a aplicabilidade do método e seu desempenho.

2 CORPO EM QUEDA LIVRE

Alguns modelos matemáticos de fenômenos físicos podem ser muito complexos e/ou não podem ser resolvidos exatamente, ou exigem técnicas matemáticas mais sofisticadas do que a álgebra simples para sua solução. Um destes problemas é descobrir uma função que melhor represente a velocidade de um corpo em queda livre e também estime sua velocidade terminal, perto da superfície da Terra. Este corpo em queda livre será um paraquedista (CHAPRA & CANALE, 2008). A segunda lei de Newton:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (1)$$

onde \mathbf{F} é a força resultante agindo no corpo (N ou Kg m/s²), m a massa do objeto (Kg) e

\mathbf{a} é a sua aceleração (m/s²), pode ser usada para determinar esta velocidade. Um modelo para este caso pode ser deduzido expressando a aceleração como taxa de variação da velocidade no tempo. Assim, da Eq. (1):

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\mathbf{F}}{m} \quad (2)$$

onde \mathbf{v} é a velocidade (m/s) e t é o tempo (s). Se a força resultante for positiva, o objeto irá acelerar. Se for negativa, o objeto vai desacelerar. Se a força resultante for nula, a velocidade do objeto permanecerá em um nível constante. Para um corpo em queda livre na vizinhança da Terra, a força resultante é composta de duas forças opostas: a força gravitacional, para baixo, \mathbf{F}_D , e a força da resistência do ar, para cima, \mathbf{F}_U :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_U \quad (3)$$

Se associarmos um sinal positivo à força para baixo, a segunda lei pode ser usada para escrever a força devida à gravidade como:

$$\mathbf{F}_D = m\mathbf{g} \quad (4)$$

onde \mathbf{g} é a constante gravitacional, ou a aceleração devida à gravidade, que é aproximadamente igual a 9,8 m/s².

A resistência do ar pode ser formulada de diversas maneiras. Uma abordagem simples é assumir que ela é linearmente proporcional à velocidade e age no sentido para cima, como em:

$$\mathbf{F}_U = -c\mathbf{v} \quad (5)$$

onde c é uma constante de proporcionalidade chamada coeficiente de arrasto kg/s. Portanto, quanto maior a velocidade de queda, maior a força para cima devida à resistência do ar. O parâmetro c representa as propriedades de objetos em queda livre, como a forma ou a aspereza da superfície, que afetam a resistência do ar. No caso presente, c poderia ser uma

função do tipo de macacão ou da orientação usada pelo paraquedista durante a queda livre.

A força resultante é a diferença entre a força para baixo e a força para cima. Portanto, as equações combinadas fornecem:

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{c}{m} v \quad (6)$$

Esta é uma equação diferencial escrita em termos da taxa de variação diferencial da variável que estamos interessados em prever. A solução exata ou analítica não pode ser obtida usando manipulação algébrica simples. Para se obter esta solução, vamos considerar que o paraquedista esteja inicialmente em repouso, ou seja, $v = 0$ em $t = 0$, fornecendo um PVI cuja solução é (BOYCE & DIPRIMA, 2006):

$$v(t) = \frac{gm}{c} (1 - e^{-(c/m)t}) \quad (7)$$

Além disto, segundo Chapra & Canale (2008), um modelo empírico alternativo para a velocidade do paraquedista, que será usado nas comparações, é dado por:

$$v(t) = \frac{gm}{c} \left(\frac{t}{3,75 + t} \right) \quad (8)$$

$$F(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \varphi(x_k)]^2 = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \alpha_2 g_2(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)]^2 \quad (9)$$

Observe também que após um tempo suficientemente longo, é atingida uma velocidade constante, chamada de velocidade terminal $v(t) = \frac{gm}{c}$. Esta velocidade é constante porque eventualmente a força da gravidade estará em equilíbrio com a resistência do ar. Portanto, a força resultante é nula e a aceleração deixa de existir.

3 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Para a aplicação escolhida neste trabalho, estamos trabalhando com o método

dos mínimos quadrados (MMQ) para o caso discreto.

O problema de ajuste de curvas (FRANCO, 2006), no caso em que temos uma tabela de pontos $(x_1, f(x_1)), (x_2, f(x_2)), (x_3, f(x_3)), \dots, (x_m, f(x_m))$, com $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ pertencentes a um intervalo $[a, b]$ consiste em: “escolhidas” as n funções $g_1(x), g_2(x), g_3(x), \dots, g_n(x)$, contínuas em $[a, b]$, obter n constantes $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, tais que a função $\varphi(x) = \alpha_1 g_1(x) + \alpha_2 g_2(x) + \alpha_3 g_3(x) + \dots + \alpha_n g_n(x)$ se aproxime ao máximo de $f(x)$.

A escolha das funções $g_1(x), g_2(x), g_3(x), \dots, g_n(x)$ pode ser feita observando o gráfico dos pontos tabelados ou baseando-se em fundamentos teóricos que nos forneceram a tabela.

Seja $d_k = f(x_k) - \varphi(x_k)$ o desvio em x_k com $k = 1, \dots, m$. O MMQ consiste em escolher os α_j 's, de tal forma que a soma dos quadrados dos desvios seja mínima. Ou seja, a soma $\sum_{k=1}^m d_k^2 = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \varphi(x_k)]^2$ sendo mínima, cada parcela $[f(x_k) - \varphi(x_k)]^2$ será pequena e cada desvio $d_k = f(x_k) - \varphi(x_k)$ será pequeno.

Assim estamos interessados em minimizar a função:

Se o modelo ajustar exatamente os dados, o mínimo da função acima será zero e, portanto, estamos num caso especial do MMQ que é a interpolação.

Usando Cálculo Diferencial para obter o ponto de mínimo da função F (RUGGIERO & LOPES, 1997), (ARENALES & DAREZZO, 2008) e (CAMPOS, 2007), encontramos um sistema linear com n equações e n incógnitas $A\alpha = b$ para se determinar os valores de α , onde $A = (a_{ij})$ é tal que: $a_{ij} = \sum_{k=1}^m g_j(x_k) g_i(x_k) = a_{ji}$, $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)^t$ e $b = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)^t$ é tal que $b = \sum_{k=1}^m f(x_k) g_i(x_k)$, $i, j = 1, \dots, n$.

Esta solução pode ser encontrada tanto para a função $\varphi(\mathbf{x})$ linear (caso polinomial), quanto para $\varphi(\mathbf{x})$ não linear.

Para se calcular o erro entre a função aproximada $\varphi(\mathbf{x})$ e $f(\mathbf{x})$ basta usar o desvio quadrático entre as duas funções:

$$\sum_{k=1}^m e(x_k)^2 = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \varphi(x_k)]^2 \quad (10)$$

4 RESULTADOS OBTIDOS

Para a implementação do método dos mínimos quadrados, foram utilizados os dados experimentais obtidos em (CHAPRA & CANALE 2008). O *software* utilizado para a simulação foi o Scilab.

O problema em estudo considera para os cálculos $c = 12,5$ kg/s e $m = 68,1$ kg.

Na Tabela 1, listamos o tempo considerado, velocidades experimentais, velocidades do modelo matemático Eq. (7), velocidades do modelo empírico Eq. (8), com o tempo medido em segundos (s) e as velocidades em m/s. Através da observação dos dados, foram usados dois modelos para o ajuste pelo método dos mínimos quadrados. Um dos ajustes foi linear através de um polinômio de grau 5 ($v(t) \simeq \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \alpha_4 t^4 + \alpha_5 t^5$) e o outro ajuste foi não linear através da função $v(t) \simeq \frac{at}{b+t}$.

Os coeficientes encontrados pelo método dos mínimos quadrados para o caso linear foram:

$$a_0 = 1,8878322$$

$$a_1 = 8,9153585$$

$$a_2 = -0,9488216$$

$$a_3 = 0,1085151$$

$$a_4 = -0,0086008$$

$$a_5 = 0,0002600$$

Já para o caso não linear os coeficientes são:

$$a = 69,480831$$

$$b = 5,8799623$$

Na Tabela 2, listamos o tempo considerado, velocidades calculadas através do modelo linear e as velocidades calculadas para o modelo não linear.

Pelos dados da tabela 2, nota-se que tanto o modelo linear quanto o modelo não linear conseguiram prever satisfatoriamente a velocidade do paraquedista em queda livre. Para a comparação entre os modelos e o experimento foi calculado em cada caso o erro quadrático (Eq. 10), para o intervalo de tempo considerado e os valores são apresentados na tabela 3:

Tabela 1 - Velocidades de um paraquedista em queda livre

Tempo (s)	Velocidades experimentais (m/s)	Velocidades (Eq. 7) (m/s)	Velocidades (Eq. 8) (m/s)
1	10,00	8,953	11,240
2	16,30	16,405	18,570
3	23,00	22,607	23,729
4	27,50	27,769	27,556
5	31,00	32,065	30,509
6	35,60	35,641	32,855
7	39,00	38,617	34,766
8	41,50	41,095	36,351
9	42,90	43,156	37,687
10	45,00	44,872	38,829
11	46,00	46,301	39,816
12	45,50	47,490	40,678
13	46,00	48,479	41,437
14	49,00	49,303	42,110
15	50,00	49,988	42,712

Tabela 2 - Velocidades de um paraquedista em queda livre

Tempo (s)	Velocidades caso linear (m/s)	Velocidades caso não linear (m/s)
1	9,9545433	10,099013
2	16,66209	17,634813
3	22,390927	23,473354
4	27,37748	28,129999
5	31,745339	31,93064
6	35,536452	35,09144
7	38,742319	37,761432
8	41,335188	40,046698
9	43,299249	42,024803
10	44,661827	43,753776
11	45,524577	45,277894
12	46,09468	46,631529
13	46,716033	47,84177
14	47,900449	48,930256
15	50,358847	49,914481

Tabela 3 - Erro Quadrático

Erro			
Modelo matemático	Modelo empírico	Ajuste linear	Ajuste não linear
13,150679	307,5983	3,8762063	14,708486

Percebemos, através do cálculo do erro, que o melhor resultado para prever a velocidade do paraquedista de forma satisfatória em comparação aos dados experimentais foi o ajuste linear (caso polinomial) feito pelo método

dos mínimos quadrados. Ainda assim, o modelo matemático e o modelo ajustado não linear também apresentaram resultados significativos. Abaixo temos a Fig. 1 comparando os modelos no intervalo de tempo considerado.

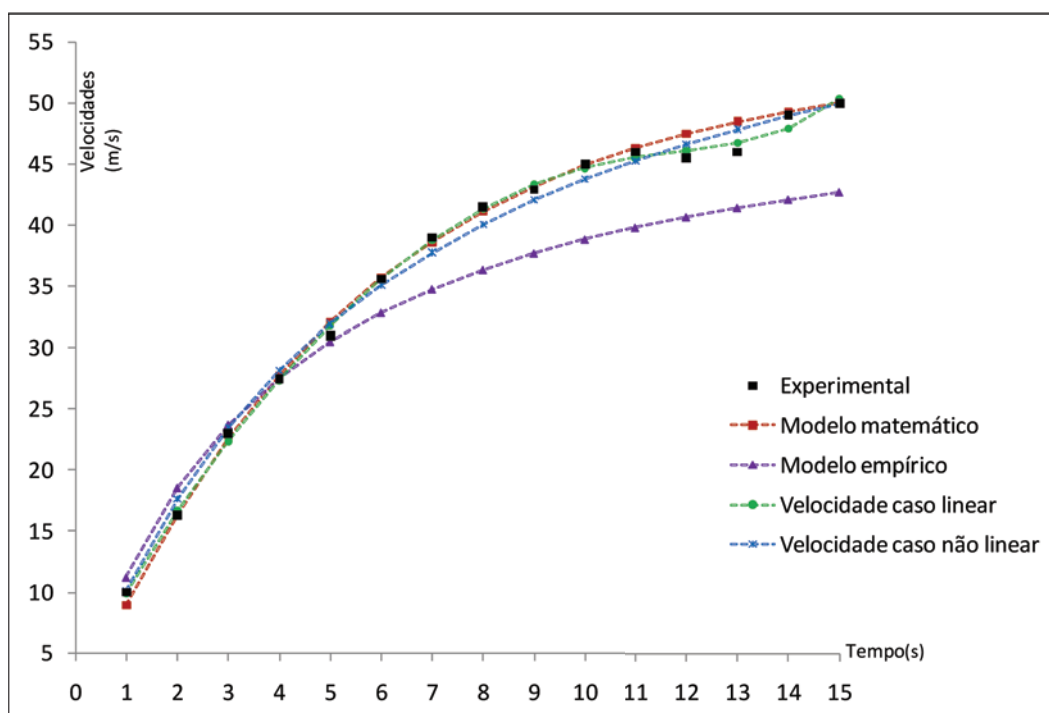


Figura 1 - Velocidades do paraquedista em queda livre

Se a comparação for feita em relação à velocidade terminal ($\approx 53,39$ m/s), tanto o modelo linear quanto o modelo não linear deixam de representar adequadamente a velocidade. Para o caso linear a extrapolação é alta e para o caso não linear esta velocidade tende ao valor de $a = 69,480831$.

5 CONCLUSÃO

Dois modelos, um linear e outro não linear, ajustados pelo método dos mínimos quadrados, foram apresentados neste trabalho. Os ajustes foram para prever a velocidade de um paraquedista em queda livre. Os resultados foram comparados com modelos matemático, empírico e experimental através do erro quadrático. Estes resultados forneceram uma previsão satisfatória para a velocidade dentro do conjunto de dados analisados. A discordância significativa foi com o modelo linear que extrapolou o resultado da velocidade terminal. Uma maior quantidade de dados experimentais poderá fornecer, para o modelo a se ajustar, um maior número de informações para a determinação dos parâmetros e, conseqüentemente, melhores resultados em relação à velocidade terminal. Estes resultados mostraram a aplicabilidade do método dos mínimos quadrados quando se deseja ajustar um conjunto de dados experimentais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio financeiro do CNPq – Bolsa PIBIT (Edital IFSP 075/2010).

REFERÊNCIAS

- ARENALES, S.; DAREZZO, A. *Cálculo numérico – aprendizagem com apoio de software*. São Paulo: Thomson, 2008.
- BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R.C. *Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno*. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- CAMPOS FILHO, F.F. *Algoritmos numéricos*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. *Métodos numéricos para engenharia*. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.
- FRANCO, N. B. *Cálculo numérico*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2006.
- RUGGIERO, M.; LOPES, V. L. *Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais*. São Paulo: Makron Books, 1997.

ALGUMAS APLICAÇÕES DAS LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA SHAPE MEMORY ALLOYS - SMA

Weimar Silva Castilho *
Edson Paulo da Silva **

As ligas com memória de forma (Shape Memory Alloy - SMA) consistem em um grupo de materiais metálicos que possuem a habilidade de retornar a um formato ou tamanho previamente definido quando submetidas a um ciclo térmico adequado. Os efeitos de memória de forma ocorrem devido a mudanças na estrutura cristalina do material, dependentes da temperatura e/ou da tensão às quais estão sujeitas tais ligas. A característica principal destes materiais é a habilidade de sofrer grandes deformações e, em seguida, recuperar sua forma original quando a carga é removida ou o material é aquecido. Essas ligas podem ser usadas para construir atuadores leves e silenciosos. O desenvolvimento de atuadores com as SMAs desperta a atenção para diversos campos da engenharia, principalmente na área de robótica, substituindo os atuadores convencionais de grande peso e ruidosos, como válvulas solenóides, motores, etc.

Palavras-chave: Liga com Memória de Forma. Efeito de Memória de Forma.

The shape memory alloys (Shape Memory Alloy - SMA) are a group of metallic materials that have the ability to return to a previously defined shape or size when subjected to an appropriate thermal procedure. The shape memory effects are due to changes in the crystal structure of the material, depending on temperature and voltage to which it is subject. The main feature of these materials is the ability to undergo large deformations and then recover its original shape when the load is removed or the material is heated. It can be used to build these phenomena silent and light actuators. The development of actuators with SMA draws attention to several engineering fields, especially in robotics, replacing the conventional actuators of great weight and noisy, such as solenoid valves, motors, etc.

KEYWORDS: *Shape Memory Alloy. Shape Memory Effect.*

1 INTRODUÇÃO

Em 1938, Arne Olander foi o primeiro a observar o efeito memória de forma em ligas metálicas, quando Greninger, da Universidade de Harvard, e Mooradian, do Massachusetts Institute of Technology, descobriram que a martensita, transformação resultante de um movimento coordenado e/ou cooperativo entre os átomos, esse efeito, apresentado no bronze,

pode ser induzido por tensão mecânica e depois desaparecer com o aquecimento (OTSUKA & WAYMAN, 1998; RYHANEN, 1999). Mas foi somente após a década de 1960 que apareceram pesquisas avançadas realizadas no campo das ligas com memória de forma¹ ou SMA.

Em 1962, Buehler e seus colegas de trabalho, no Laboratório Naval de Ordnance,

¹ Ligas de Memória de Forma ou no original *Shape Memory Alloys*, doravante citadas por sua abreviação do nome original: SMA.

* Mestre em Sistemas Mecatrônicos pela UNB – Brasília – DF - Docente do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO - Coordenador do Curso de Licenciatura em Física – *Campus* Palmas. E-mail: <weimar@ifto.edu.br>.

** Doutor em Ciências da Engenharia pelo Technische Universität Berlin - Docente de graduação e pós-graduação da Universidade de Brasília - UNB. E-mail: <dasilva@unb.edu.br>.

nos Estados Unidos, descobriram o efeito da memória de forma em uma liga de Níquel Titânio (NiTi) que ficou conhecida como Nitinol, como uma referência às iniciais do laboratório (HODGSON et al., 1990). Posteriormente houve um crescente interesse pelo emprego destes materiais em situações que vão desde estrutura adaptativa a implantes utilizados na medicina (MACHADO, 2002).

As ligas de maior importância, por atender a essas características, são NiTi, como o CuZnAl e CuAlNi. As ligas NiTi são de maior potencial em aplicações comerciais porque combinam boas propriedades mecânicas com memória de forma e biocompatibilidade (HODGSON et al., 1990).

2 AS LIGAS NiTi

As ligas NiTi com memória de forma são um composto intermetálico. Este composto apresenta uma solubilidade moderada do Níquel (Ni) e do Titânio (Ti), assim como de outros elementos metálicos, além de apresentar uma ductilidade comparável à de outras ligas metálicas (KRISHNAN et al., 1974). Esta solubilidade de um maior número de elementos permite uma modificação significativa tanto das suas propriedades mecânicas quanto das suas temperaturas de transformação (FRENZEL, et al., 2004). O Ferro (Fe) e o Cromo (Cr) também são frequentemente adicionados para baixar as temperaturas de transformação, bem como o Cobre (Cu) que é usado para reduzir a histerese de transformação e diminuir a tensão de orientação da Martensita (SHAW & KRISHNAN et al., 1974). A presença de elementos de ligas como o Oxigênio (O) e o Carbono (C) podem também alterar as temperaturas de transformação e degradar as propriedades mecânicas, o que faz com que seja desejável minimizar a presença destes elementos (FERNANDES, 2003).

Devido à elevada reatividade do Ti, a fusão dessa ligas deve ser feita preferencialmente sob vácuo ou em atmosfera

inerte, sendo comercialmente utilizadas técnicas como a fusão por arco de plasma ou por feixe de elétrons, ou ainda por indução sob vácuo (FRENZEL, et al., 2004). Os lingotes obtidos são depois conformados a quente por forjamento, laminação ou extrusão. A maioria dos processos de deformação a frio pode ser aplicada a estes materiais, mas a sua capacidade de encruamento é muito acentuada e torna-se por isso necessário fazer um recozimento. A trefilagem é normalmente utilizada para produzir fios com dimensões que podem atingir 0,05mm, apresentando excelentes características de superfície (FERNANDES, 2003).

As ligas NiTi possuem boa combinação de propriedades como a alta resistência mecânica. A boa resistência à corrosão e aos efeitos memória de forma pode ser explorada de várias maneiras até que o limite de fadiga afete seu uso (FRENZEL, et al., 2004).

2.1 Transformação martensítica

As fases mais comuns presentes nas SMA são austenita e martensita. A Austenita (A) é estável somente em temperaturas acima dessa fase, tendo uma única variante com uma estrutura de corpo-centrado. A Martensita (M), que é estável à temperatura abaixo dessa fase, é induzida pela tensão ou pela temperatura, nela a liga é facilmente deformada (HODGSON et al., 1990). Dependendo do tipo de transformação experimentado por estas ligas, a estrutura cristalina na fase martensita pode ser monoclinica ou ortorrômbica (OTSUKA & REN, 1999; WU & LIN, 2000).

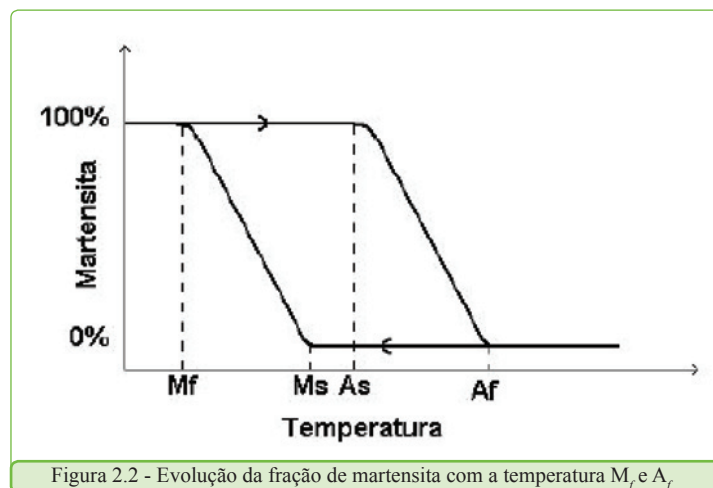
A Figura 2.2 mostra a relação da fração martensítica *versus* a temperatura no estado livre de tensões. Durante o aquecimento, o material percorre a curva superior. Quando a temperatura A_s é atingida, tem-se o início da formação da austenita. A transformação continua até atingir 100% de austenita em A_f . No resfriamento o material percorre a parte inferior da curva da Figura 2.2. Para temperaturas abaixo de M_s começa a formação de martensita até atingir

a temperatura M_f , quando a constituição do material é 100% martensítica (SHAW & KYRIAKIDES, 1995).

As mudanças que ocorrem nas estruturas cristalinas das SMA estão relacionadas diretamente com a dissipação de energia devido aos choques de discordância e à criação de defeitos cristalinos. Como resultado tem-se um ciclo de histerese na temperatura, como observado na curva da Figura 2.2. As temperaturas de transformação de fase são características de cada liga, e variam em função da composição química e de tratamentos térmicos (OTSUKA & REN, 1999; WU & LIN, 2000). Essa reversão de sentido cria um ciclo de histerese e a sua caracterização varia entre cada liga em função da sua composição química e de tratamentos térmicos.

às transformações de fase induzidas no material (KRISHNAN et al., 1974).

As SMA possuem um comportamento termomecânico fortemente dependente da temperatura em que se encontram. As SMA apresentam três comportamentos marcantes: a quasiplasticidade, a pseudoelasticidade e o efeito memória de forma (ROGERS, 1993). Em temperatura abaixo da martensítica, as SMA apresentam um comportamento quasiplástico, que é caracterizado por uma grande deformação residual proveniente de uma reorientação martensítica induzida mecanicamente (KRISHNAN et al., 1974). A pseudoelasticidade, por sua vez, é um comportamento caracterizado por uma recuperação de deformação após a retirada da tensão, a temperaturas acima da austenita. Essas deformações são oriundas de uma transfor-



Ainda a partir da Figura 2.2, apresentam-se as faixas de temperatura nas quais são observados os fenômenos da quasiplasticidade e da pseudoelasticidade. A quasiplasticidade é observada para temperaturas abaixo de M_f e a pseudoelasticidade vista em temperaturas superiores a A_f .

2.2 Comportamento termomecânico das SMA

As SMA são ligas metálicas capazes de recuperar a geometria original ou de desenvolver consideráveis forças de restituição ao se restringir sua recuperação através da imposição de um campo de temperatura e/ou de tensão, devido

mação martensítica induzida por tensão (KRISHNAN et al., 1974). O efeito memória de forma é a recuperação da deformação quasiplástica com o aquecimento (FERNANDES, 2003).

Comum entre as ligas de ferro-carbono, as transformações martensíticas são formadas quando estas ligas austenitizadas resfriam-se rapidamente, ou são temperadas, até uma temperatura relativamente baixa, próxima da temperatura ambiente (CALLISTER, 2000). A martensita tem sua estrutura monofásica que não se encontra em equilíbrio (metaestável), resultado da transformação sem difusão. A transformação de martensita ocorre quando a taxa de têmpera é rápida o suficiente para prevenir a difusão do carbono (CALLISTER, 2000).

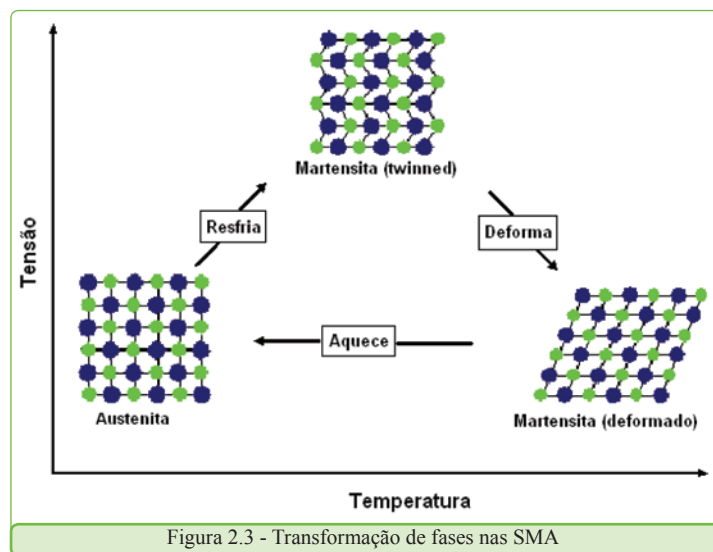
Quando a martensita se forma somente através da variação da temperatura, ela é denominada martensita maclada ou martensita *twinned*. Este tipo de martensita é uma forma cristalina potencial, que se transforma em uma determinada estrutura cristalina que dependerá das tensões impostas sobre ela. Nesta fase ela apresenta 24 variantes, isto é, 24 subtipos com orientações cristalográficas diferentes (DELAEY et al., 1974). Por outro lado, quando a martensita é induzida por tensão, estas 24 variantes da martensita *twinned* se reorientam na direção mais favorável à tensão aplicada, como ilustra a Figura 2.3 (DELAEY et al., 1974).

Quando a martensita é induzida por tensão, ou por tensão e temperatura conjuntamente, ocorre a formação de martensita *detwinned*. Neste caso, ela assume uma forma cristalina relacionada ao tipo de tensão a que foi submetida (DELAEY et al., 1974).

uma amostra ao ser sujeita a um ciclo térmico de aquecimento e de resfriamento que atravessa o intervalo de temperaturas de transformação. (OLSON & COHEN 1982).

2.3 A pseudoelasticidade

A pseudoelasticidade é um comportamento caracterizado por uma recuperação da deformação após a retirada da carga, a temperaturas acima de A_f ($T > A_f$). Essas deformações são oriundas de transformações martensíticas induzidas por tensão e por reorientação da estrutura cristalina (KRISHNAN et al., 1974). Numa configuração livre de tensões, apenas a austenita é termodinamicamente estável acima de A_f , logo a martensita formada, na ausência de tensões, é instável (DELAEY et al., 1974). Esta ca-



Em geral, quatro temperaturas características de transformação são definidas: M_s (*martensite start*) e M_f (*martensite finish*), respectivamente temperaturas de início e fim da formação da martensita. A_s (*austenite start*) e A_f (*austenite finish*) correspondem às temperaturas de início e fim de formação da fase austenita.

As temperaturas de transformação podem ser obtidas através de um calorímetro chamado “*Differential Scanner Calorimeter*” (DSC). Este é um dos procedimentos para investigar essas mudanças. Nesta técnica mede-se a quantidade de calor absorvida ou liberada por

racterística das SMA tem forte dependência em relação às temperaturas características de transformação.

As deformações pseudoelásticas podem chegar a deformações reversíveis de até 10% em certas ligas, sendo 8% um valor típico para as ligas NiTi. Ao comparar estas deformações recuperáveis da SMA à deformação recuperável típica dos materiais convencionais de engenharia, que corresponde à deformação elástica destes materiais, pode-se ter uma ideia de como é excêntrico o comportamento das SMA (WAYMAN & DUERIG, 1990).

Ao submeter o material a uma tração mecânica, observa-se um comportamento elástico até um determinado nível de tensão (Figura 2.6). A partir daí observa-se uma deformação relativamente grande com pequena variação da tensão. Ao retirar a carga da liga, retorna ao seu estado inicial, percorrendo uma histerese. A área delimitada pela histerese expressa a energia absorvida durante o processo. A deformação produzida pela aplicação de tensão é recuperada com o descarregamento (KRISHNAN et al., 1974).

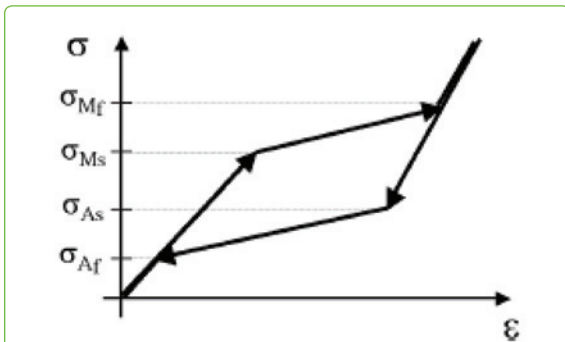


Figura 2.6 - Curva Tensão-Deformação pseudoelástica esquemática

2.4 Efeito memória de forma - SME (*Shape Memory Effect*)

As ligas de SMA são facilmente deformadas plasticamente. Estando sua temperatura abaixo da M_f , ao ser aquecida a uma temperatura acima de A_f , retoma a forma inicial, de antes da deformação. Esta “lembrança”, que estes materiais apresentam,

é resultado das transformações martensíticas termoelásticas. Elas são fenômenos independentes do tempo, mas que dependem da temperatura, e que demonstram forte reversibilidade, Figura 2.7 (WAYMAN & DUERIG, 1990).

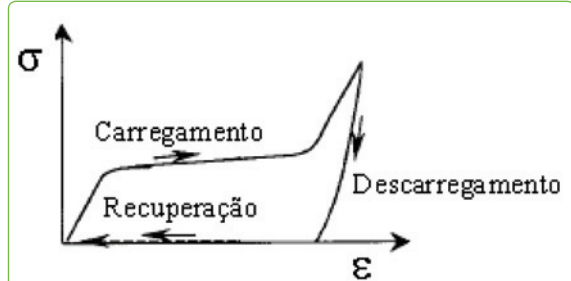


Figura 2.7 - Diagrama da relação entre a tensão e a deformação para SMA

Quando a SMA está abaixo de M_f (Figura 2.8) e com temperatura constante, pode ser facilmente deformada (Figura 2.8B). Entretanto, quando o material é aquecido acima de A_f , ocorre uma mudança que o faz retornar a sua forma original (Figura 2.8D), após resfriada completa o ciclo retornado à condição inicial (HODGSON et al., 1990).

A base do efeito memória de forma é a transformação de fase martensítica. A transformação de fase martensítica explica a recuperação de forma das SMA. Esta transformação ocorre dentro de uma escala das temperaturas que variam de acordo com as propriedades químicas de cada liga (ROGERS, 1993).

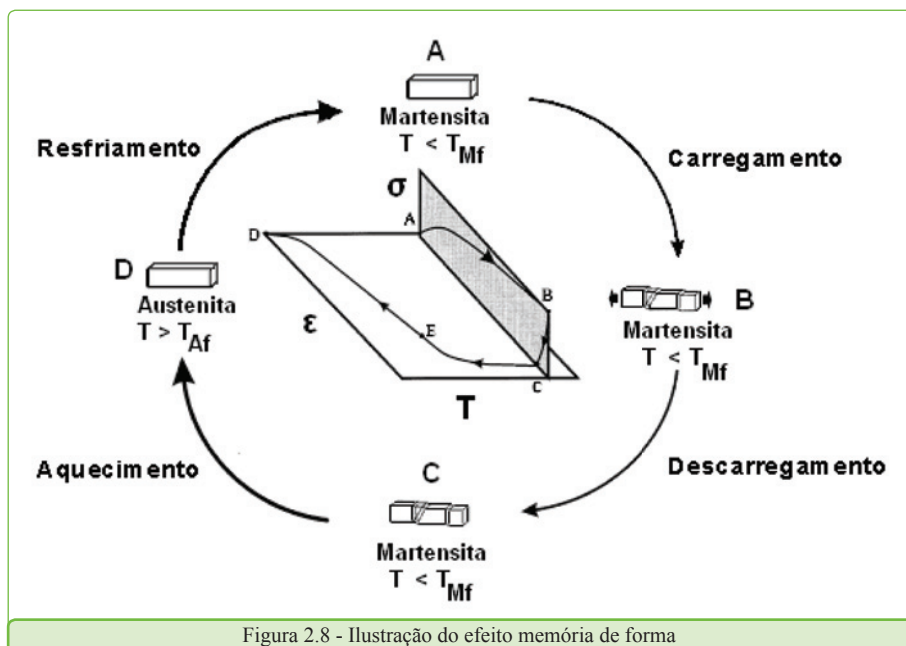


Figura 2.8 - Ilustração do efeito memória de forma

Para temperaturas abaixo de M_s , as SMA apresentam o efeito de memória de forma e quasiplasticidade, no qual, após um processo de carregamento e descarregamento, a liga retorna à geometria original após aquecê-lo a uma temperatura superior a A_s , promovendo, assim, a recuperação da deformação residual. E acima de A_s , temos o fenômeno da pseudoquasiplasticidade (HODGSON et al., 1990).

2.5 Aplicações das SMA

De uma maneira geral, as SMA apresentam baixa resistência à fadiga quando comparadas a outras ligas. Vale ressaltar, no entanto, que as SMA são capazes de gerar grandes forças de restituição com um consumo de energia relativamente baixo, o que é uma característica que as diferencia em diversas aplicações. São muitas as aplicações possíveis das SMA, e em diversas áreas têm-se desenvolvido tecnologias afins, que vão desde a medicina à engenharia aeroespacial.

2.5.1 Controle vibracional em estruturas adaptativas

Estudos propuseram rotores que tenham como suporte dois mancais (Figura 2.9), sendo um deles configurado com SMA, podem ter suas velocidades críticas reduzidas abaixo de seus valores nominais (ZAK et al., 2003), através da aplicação das SMA para o controle de vibração em máquinas rotativas.

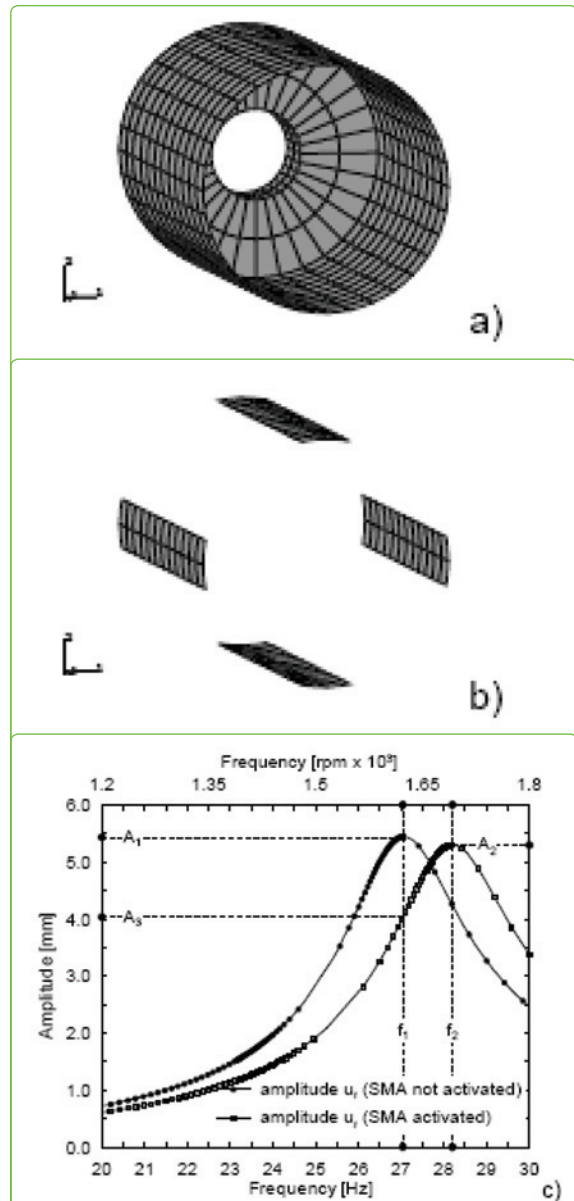


Figura 2.10 - Uma malha de elementos finitos de um mancal de epóxi/fibra de vidro com 4 tiras de SMA sendo a) mancal, b) tiras de SMA, c) amplitude da vibração versus a frequência de excitação (velocidade de rotação) (ZAK et al., 2003)

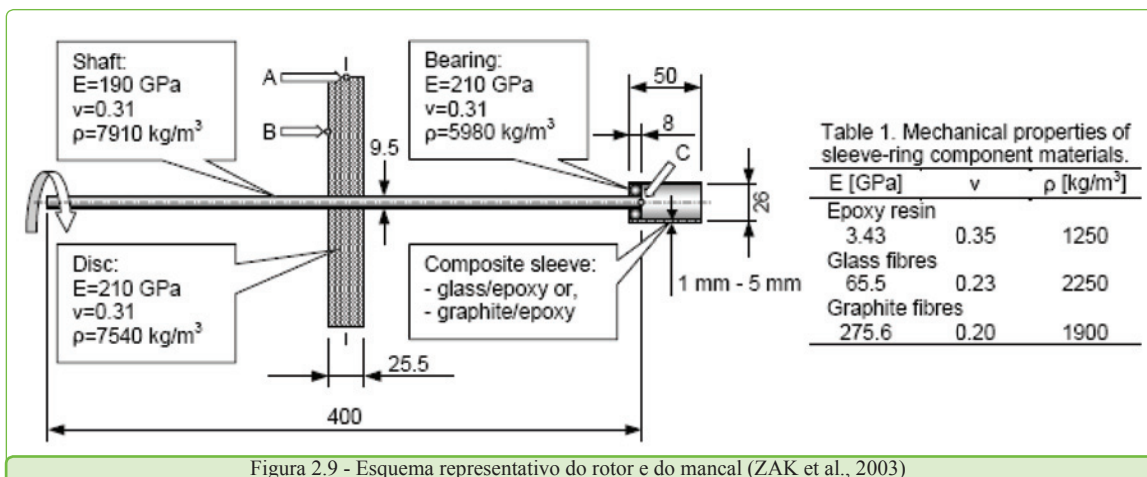


Figura 2.9 - Esquema representativo do rotor e do mancal (ZAK et al., 2003)

Mostrou-se na Figura 2.10 que o compósito/SMA, com determinadas condições vibracionais e propriedades físicas, fornece uma redução na amplitude vibracional, assim como a velocidade crítica de rotação. A Figura 2.10 (a) representa o mancal com SMA embebida, (b) representa as tiras de SMA e (c) a representação gráfica do comportamento dinâmico do sistema ilustra a redução da amplitude com ativação da SMA, permitindo o aumento da frequência.

2.5.2 Controle vibracional variando o módulo de elasticidade da SMA

Um dispositivo de controle vibracional passivo clássico é conhecido como *Tuned Vibration Absorber* (TVA), e consiste em um segundo oscilador montado no sistema primário, de acordo com a Figura 2.11.

O dispositivo TVA adaptativo (ATVA) segue os princípios das SMA (Figura 2.11). Recomenda-se este tipo de controle em sistemas onde a frequência é variável ou incerta (WILLIAMS et al. 2002). O ATVA, com memória de forma, possui a capacidade de alterar a sua rigidez de acordo com a temperatura em que os elementos se encontram. Esta propriedade faz com que o ATVA com memória de forma possa atenuar as vibrações do sistema primário

através de uma faixa de frequências, apenas alterando-se o módulo de elasticidade, através de aquecimento ou resfriamento dos elementos elásticos com memória.

2.5.3 Aplicações na medicina

Outra boa aplicação do uso das SMA consiste em um filtro de coágulos sanguíneos desenvolvido por Simon. É um fio de NiTi que é previamente deformado para assumir uma forma que lhe permita fixar-se às paredes internas das veias. Esse filtro é deformado à baixa temperatura, de modo a poder ser inserido na veia pretendida junto com uma solução salina que o mantém resfriado; ao ser submetido ao calor do corpo humano, ele retoma a configuração original, conforme a Figura 2.12 (MACHADO & SAVI, 2002).

Também na área médica podemos citar os implantes de placas ósseas no regime pseudoelástico que auxiliam a recuperação de um osso quebrado ou fraturado (Figura 2.13). Frequentemente são usadas em fraturas ocorridas na face, como nariz, mandíbulas e na região óssea ocular. Essa técnica é conhecida na medicina como síntese óssea. As placas facilitam a cura dos ossos fraturados que necessitam estar sob constante compressão. Essa compressão é obtida por

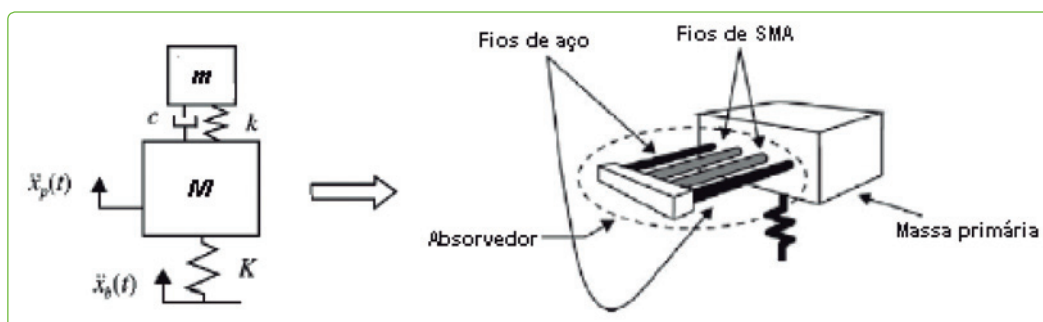


Figura 2.11 - Esquema e conceito de projeto do absorvedor TVA (WILLIAMS et al., 2002)

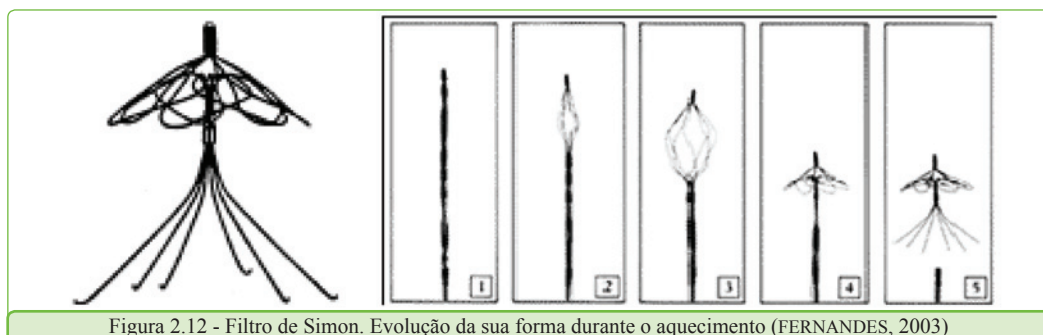


Figura 2.12 - Filtro de Simon. Evolução da sua forma durante o aquecimento (FERNANDES, 2003)

implante ósseo, normalmente fabricado em titânio e aço inoxidável, que mantém os ossos juntos e acelera a recuperação do osso fraturado (MANTOVANI, 2000). Após alguns dias de recuperação, a compressão provida pelo implante sofre uma redução na intensidade, pois, conforme se dá a cura, as duas partes do osso fraturado tendem a ficar mais próximas. Com aumento da proximidade entre as partes, há um afrouxamento do implante previamente fixado, aumentando a velocidade de recuperação.

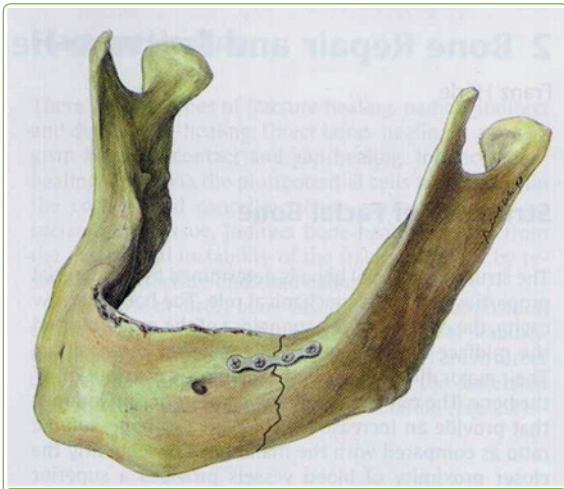


Figura 2.13 - Implante de placa óssea utilizada para reparar uma fratura na mandíbula. (SMA/MEMS RESEARCH GROUP, 2001)

Essas placas ósseas são fabricadas em níquel-titânio com efeito de memória de forma. Usando a liga de NiTi, que possui A_f maior que $15\text{ }^\circ\text{C}$, os cirurgiões seguem o mesmo procedimento usado com implantes convencionais. Primeiramente a placa de NiTi é resfriada abaixo da sua temperatura de transformação e, então, implantada no osso. Porém, com o aquecimento natural do corpo humano, a SMA contrai e com isso gera uma compressão nos ossos fraturados, melhorando o processo de cura mais que uma placa comum de titânio ou aço inoxidável. Esta pressão contínua auxilia no processo de cura e reduz o tempo de recuperação (MANTOVANI, 2000).

Existem ainda muitos aspectos a serem estudados antes de se utilizarem efetivamente as SMA como implantes. Neste último exemplo o grande desafio para os engenheiros é o desenvolvimento de placas que aplicam a pressão correta nas fraturas.

2.5.4 Aplicações na odontologia

Em 1975, Andreasen, da Universidade de Iowa, fez o primeiro implante de um dispositivo ortodôntico explorando a pseudoelasticidade de uma SMA para correção da posição dos dentes (HODGSON et al., 1990). Esta correção é imposta através de uma pequena variação de tensão quase constante que resulta em grande deformação, tomando como parâmetro os materiais convencionais. Conseqüentemente, o incômodo é mínimo para o paciente. A grande vantagem do NiTi é o fato de permitir deformações de cerca de 8 a 10% sem entrar no regime plástico, explorando o fenômeno da pseudoelasticidade (Figura 2.14). É possível ainda conciliar este efeito, com a transformação de fase imposta pela temperatura (MACHADO & SAVI 2002).

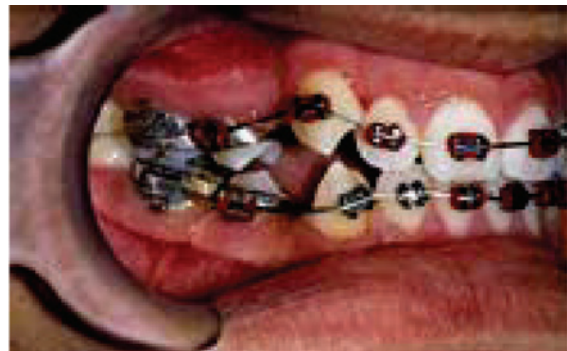


Figura 2.14 - Arcos ortodônticos de SMA (FERNANDES, 2003)

2.5.5 Aplicações em tubulações

Ainda se tratando do efeito de memória de forma, o retorno à forma inicial sob tensão é uma situação que pode ser bem ilustrada pelo uso das SMA pela *Raychem Corporation* para acoplamento de tubulações de circuitos hidráulicos, como mostra a Figura 2.15. Estes acoplamentos têm a forma de casquilhos cilíndricos de diâmetro ligeiramente inferior ao dos tubos a que devem ligar-se. São expandidos à baixa temperatura, enquanto se encontram no estado martensítico e quando são aquecidos sofrem uma contração que une as extremidades dos tubos (FERNANDES, 2003).

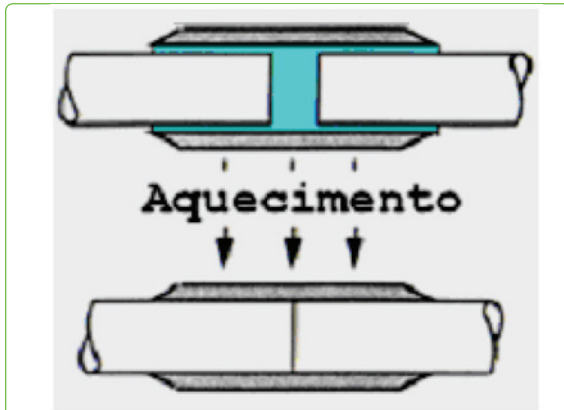


Figura 2.15 - Luva de ligação de tubo: inserção dos tubos, a frio; martensita, ajuste dos tubos devido ao aquecimento da manga, transformação da martensita em austenita (FERNANDES, 2003)

2.5.6 Aplicações na aeronáutica

Os *flaps* são estruturas móveis, inseridas nas asas, que promovem o ganho ou perda de altitude ou a mudança de direção de um avião. A manobra de aeronaves depende da eficiência dos *flaps*. Estas estruturas utilizam extensos sistemas hidráulicos que necessitam de bombas e atuadores, elevando o custo e o peso, dois pontos críticos do projeto de aeronaves. Muitas alternativas na indústria aeroespacial estão sendo pesquisadas para contornarem esse problema, e potenciais soluções são as SMA.

A Figura 2.16 mostra as formas básicas dos *flaps* das asas, com o sistema hidráulico conectado ao atuador. Com o uso das SMA, as asas poderiam ter a configuração mostrada na Figura 2.17, o que possibilita o projeto de sistemas mais otimizados em relação ao custo, ao peso e à eficiência (ASUNDI, 1996).

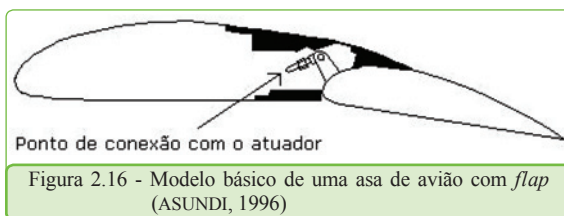


Figura 2.16 - Modelo básico de uma asa de avião com *flap* (ASUNDI, 1996)

No sistema mostrado na Figura 2.17, fios de SMA são inseridos na parte superior e na inferior do *flap*. Assim, com um sistema de aquecimento por corrente elétrica dos fios de SMA, a geometria do *flap* pode ser controlada.

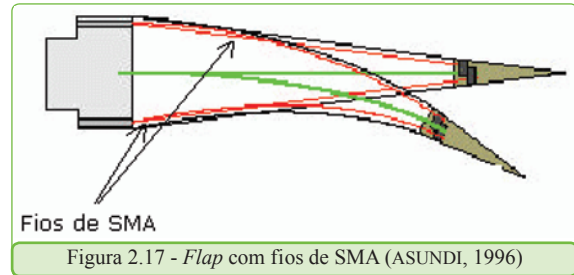


Figura 2.17 - *Flap* com fios de SMA (ASUNDI, 1996)

3 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma discussão sobre as ligas com memória de forma, apontando alguns aspectos relacionados a seus comportamentos termomecânicos e suas aplicações. De uma maneira geral, observa-se que a modelagem destas ligas possui duas abordagens distintas: microscópica e macroscópica. Espera-se que as potenciais aplicações desses materiais em breve estejam disponíveis para o mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

ASUNDI, A. *Polarimetric sensors for strain measurement and damage detection: smart structures*. Materials and Mems: Bangalore, India 1996.

BERNARDINI, D.; BRANCALEONI, F. *Shape memory alloys modeling for seismic applications*, Manside Project, Rome, 73-84, 1999.

BUEHLER, W.J.; GILFRICH, J.V.; WILEY, R.C. *Apples. Phycys.*, vol 34, p. 1475, 1963.

CALLISTER, W. D. Jr. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Editora LTC. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Utah, 2000.

DELAEY, L.; KRISHNAN, R. V.; TAS, H. *Thermoelasticity, pseudoelasticity, and the memory effects associated with martensitic transformations. Part 1. Structural and microstructural changes associated with the transformations*. *Journal of Materials Science*, 9 ed., p. 1521-1535, 1974.

- FERNANDES, F. M. B. *Ligas com memória de forma*. Departamento de Ciência dos Materiais / CENIMAT, Universidade Nova de Lisboa, 2003.
- FRENZEL, J. et. al. High quality vacuum induction melting of small quantities of NiTi shape memory alloys in graphite crucibles. *Materials science e engineering*, p. 299-310, 2004.
- HODGSON D. E.; WU M. H.; BIERMANN R. J. Shape Memory Alloys, Metals Handbook. Vol. 2. p. 897-902, 1990.
- KRISHNAN, R.V.; DELAEY, L.; WARLIMONT, H. et al. Thermoelasticity, pseudoelasticity and the memory effects associated with martensitic transformations, Part. 1 Structural and microstructural changes. *Journal of Materials Science*, vol. 9, p. 1521-1535, 1974.
- MACHADO, L.G. ; SAVI, M.A. Aplicações odontológicas das ligas com memória de forma. *Revista Brasileira de Odontologia*. vol. 59, n. 5, pp. 302-306, 2002.
- MANTOVANI D. Shape memory alloys: Properties and biomedical applications. *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 52: 36-44, 2000.
- OLSON, G. B.; COHEN, M. Theory of martensitic nucleation: a current assessment. *Proceeding International Conference on Solid-Solid Phase Transformations*, p. 1145-1163, 1982.
- OTSUKAK.; WAYMAN C. M. *Shape memory materials*. Cambridge University Press, 1998.
- OTSUKA, K.; REN, X. Recent developments in the research of shape memory alloys. *Intermetallics*, 7, pp. 511-528, 1999.
- ROGERS, C. A. Intelligent material systems: the dawn of a new materials age. *Journal of Intelligent Materials System and Structures*, Vol. 4, Technomic Publishing Company, Lancaster, U.S.A., 1993.
- RYHANEN, J. *Biocompatibility evaluation of nickel-titanium shape memory metal alloy*. Tese (Doutorado). Faculty of Medicine, Oulu University, Oulu, Finlandia, 117p. 1999.
- SHAW, J. A.; KYRIAKIDES, S. Thermomechanical aspects of Ni-Ti. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 43 (8): pp. 1243-1281, 1995.
- TURNER, T.L. Thermomechanical Response of Shape Memory Alloy Hybrid Composites. NASA/TM-2001. Langley Research Center, Hampton, Virginia, 2000.
- WAYMAN, C. M.; DUERIG, T. W. Engineering Aspects of Shape Memory Alloys. org. DUERIG, T.W., MELTON, K. N., STOCKEL, D., WAYMAN, C. M. Butterworth-Heinemann. p. 3-20. 1990.
- WILLIAMS, K.A; GEORGE, T.C.C; BERNHARD, R.J. *Nonlinear control of a shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber*. Department of Mechanical Engineering. The University of Alabama, USA, 2002.
- WU, S. K.; LIN, H. C. Recent development of TiNi-based shape memory alloys in Twain. *Materials Chemistry and Physics*, p. 81-92 2000.
- ZAK, A.J.; CARTMELL, M.P.; OSTACHOWICZ, W. M. Dynamics and control of a rotor using an integrated SMA/composite active bearing actuator. *Key Engineering Materials*, Suíça, vol. 245-246, p. 233-240, 2003.

Sergio Eugenio Menino¹
Helena Gemignani Peterossi²
Senira Anie Ferraz Fernandez³

O objetivo deste artigo é realizar uma breve reflexão sobre o ambiente global do conhecimento, da tecnologia e do processo de inovação, com especial atenção para as relações entre os países desenvolvidos e menos desenvolvidos acerca do tema. Para isso serão analisados e discutidos aspectos que dizem respeito ao cenário global, à aquisição de tecnologia, ao processo de inovação, à disputa por competitividade e à questão da propriedade intelectual do conhecimento. Por fim, procura-se situar o tema em relação ao Brasil.

Palavras-chave: Inovação. Conhecimento. Tecnologia. Capacitação Tecnológica. Direitos de Propriedade Intelectual.

The objective of this paper is to think briefly about the global environment of knowledge, technology and innovation, giving special attention to the relations between developed and less developed countries in this subject. For this purpose, topics about the global scenery, the acquisition of technology, the innovation process, the struggle for competitive positions and the knowledge intellectual property rights issue will be analyzed and discussed. Finally, this article intends to establish the subject related to Brazil.

Keywords: Innovation. Knowledge. Technology. Technological Capabilities. Intellectual Property Rights.

1 INTRODUÇÃO

Presencia-se um processo de profundas mudanças na economia e na sociedade caracterizado pelo uso maciço e pela disseminação da tecnologia e inovação. Um processo em que a competição alcança nível universal, provocando uma busca permanente pela competitividade. E que atinge a economia brasileira por sua inserção no fenômeno da globalização, produzindo efeitos com características tanto positivas quanto negativas.

Nesse ambiente, o Brasil não pode se excluir das mudanças que se processam na

economia mundial, procurando maximizar os efeitos positivos e se imunizar contra os negativos, pois, segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia, a emergência de um novo paradigma técnico e econômico se constitui em oportunidade sem precedentes para alavancar o desenvolvimento econômico e social e alcançar um grau de competitividade internacional satisfatório (TAKAHASHI, 2000).

O objetivo deste artigo é realizar uma breve reflexão sobre esse ambiente global no tocante ao conflito entre a necessidade de inovação tecnológica dos países menos desenvolvidos *versus*

1 Pesquisador do Programa de Mestrado em Tecnologia – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Mestre em Tecnologia pelo Centro Paula Souza. E-mail: <sergiomenino@ig.com.br>.

2 Coordenadora do Programa de Mestrado em Tecnologia – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Doutora em Educação pela UNICAMP. E-mail: <hgemig@terra.com.br>.

3 Professora do Programa de Mestrado em Tecnologia – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Doutora em Educação pela USP. E-mail: <digame@uol.com.br>.

barreiras de proteção por parte dos líderes tecnológicos já inseridos na Sociedade do Conhecimento. Para isso serão analisados e discutidos aspectos que dizem respeito ao cenário global, à aquisição de tecnologia, ao processo de inovação, à disputa por competitividade e à questão da propriedade intelectual do conhecimento.

2 CENÁRIO

No cenário econômico global, pode-se afirmar que o principal fator competitivo da atualidade é a capacidade de um indivíduo, uma empresa, um país transformar conhecimento em inovação e, primordialmente, inovação tecnológica.

Segundo a corrente de pensamento econômico institucionalista, a questão da tecnologia e do processo de inovação não se dá apenas em termos de bens de capital, mas, em uma visão mais abrangente, inclui o acúmulo de conhecimento de uma sociedade como importante variável, ao afirmar que “a tecnologia é a aplicação sistemática de conhecimento organizado e confiável a tarefas práticas” (PESSALI; FERNANDEZ, 2006, p. 91). Avançando ainda nessa óptica, pode-se dizer que este conhecimento e sua forma de aplicação como tecnologia estão condicionados pelas instituições¹ de uma sociedade, através de uma trajetória cumulativa e dependente das escolhas efetuadas no passado.

O advento da Revolução Tecnológica das últimas décadas possibilitou que o conhecimento fosse armazenado, processado e disseminado em nível global com custos de reprodução baixos e tendentes à queda (PERSAUD, 2001, p. 107).

Este cenário, segundo o Banco Mundial, se caracteriza pela presença de um grupo de países desenvolvidos que produz a maioria do conhecimento científico e tecnológico,

cuja criação, adaptação e comercialização são fatores críticos para o desenvolvimento econômico e social. Isto produz um “círculo virtuoso” para esse grupo de países, enquanto os demais, em graus variados, têm dificuldade em construir sistemas de ciência, tecnologia e inovação eficientes e eficazes (HOLM-NIELSEN, 2002, p.1).

Em paralelo, durante estas décadas de preponderância das políticas neoliberais, dentro do chamado *Consenso de Washington*, após o desgaste do modelo *keynesiano* de intervenção estatal na economia, viu-se tomar corpo um protagonismo do meio empresarial, também comumente chamado de Mercado, na cena econômica.

A ascensão do Mercado, instituição expansiva, autorreforçativa e autoamplificadora, está tornando os valores comerciais (competição, preponderância do mais forte ou mais adaptável, organização através da supremacia das regras contratuais sobre as políticas) no principal referencial da sociedade e da direção da economia, e no principal objetivo a ser alcançado, até mesmo pelas políticas governamentais.

Dentro desse contexto, o Conhecimento passou a ser elemento primordial na produção, comercialização e gestão das empresas. Surgiram e se fortaleceram as *Empresas do Conhecimento*, em que ele ou é a principal mercadoria (finanças, entretenimento, comunicações, serviços e educação) ou se tornou importante insumo, passando o produto ou serviço da empresa a ter um forte embasamento no conhecimento. Desta maneira, conhecimento tornou-se riqueza, patrimônio ou ativo das organizações e a ciência e tecnologia se transformaram em matéria-prima por excelência (LIBÂNIO et al., 2003).

Kaplan e Norton (1997, p. 4) afirmam que uma das premissas em que as Empresas do Conhecimento (ou da Informação, termo utilizado por esses autores), se baseiam é o processo conhecido como Inovação, que se pode definir como a criação ou adoção de novos processos e produtos ou a modificação dos existentes com vistas a obter ganhos significativos. Isto porque os ciclos de

¹ A mais conhecida e simples forma de definir *Instituições*, do ponto de vista neoinstitucionalista, é de que estas seriam as “regras do jogo” segundo se organizam uma economia e uma sociedade sob a esfera de leis, normas, regras (formais e não formais), cultura, entre outras, que acabam moldando e limitando o comportamento e as decisões dos agentes econômicos.

vida dos produtos têm se encurtado cada vez mais. As empresas devem dominar a arte de prever as necessidades futuras de seus clientes, mantendo a capacidade de incorporar rapidamente conceitos inovadores e tecnologias que potencializem a eficiência e a eficácia de seus processos e produtos.

Para tanto, deve haver algum tipo ou formato de sistema e estruturas de aquisição de capacidade tecnológica para o processo de inovação.

3 PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE CAPACIDADE TECNOLÓGICA E DE INOVAÇÃO

A aquisição de capacidade tecnológica, por uma empresa ou país, se dá pela adoção de uma das seguintes formas de obtê-la: Absorção, Adaptação ou Inovação.

A escolha entre elas é uma decisão relevante que estabelecerá o balizamento dos projetos, a política tecnológica e os planos de negócios; e que é limitada e condicionada por fatores do ambiente externo e interno, muitas vezes conflitantes com os reais interesses da nação, empresa ou sociedade.

A aquisição de capacidade tecnológica por Absorção pode ser caracterizada como a compra direta do detentor da propriedade dessa tecnologia, envolvendo processos complexos e custosos para o aquisidor como avaliação e negociação de adequabilidade, viabilidade, condições de transferência, preços e prazos (RIBEIRO, 2001).

Complexidade essa que se agravou para os países menos desenvolvidos, a partir do momento em que:

- o conhecimento tornou-se uma mercadoria e bem econômico. Sua propriedade, não transferida, passou a ser defendida através de patentes e tratados internacionais e procurou-se alugar a sua posse através de sistemas de acesso;
- os provedores de tecnologia importada passaram a colher uma série de ganhos incrementais a

partir da garantia do fornecimento da manutenção e assistência técnica e da certificação de habilidades dos indivíduos no seu uso; e

- o ciclo de negócios, tempo que se leva para criar um produto ou processo, testá-lo, colocá-lo em linha, vendê-lo, usufruir dele e ele chegar à obsolescência é cada vez menor. Muitas vezes, o consumidor demanda produtos que ainda têm que ser desenvolvidos.

Por isso, os proprietários de novos produtos e processos, sejam eles empresas ou nações, procuram evitar, de toda a maneira possível, a aplicação de tecnologia ou engenharia reversa por parte dos compradores de tecnologia. Ou seja, impedir que estes possam, a partir da análise da tecnologia embarcada nos artefatos e outros mecanismos adquiridos, reproduzir essas tecnologias em processos e produtos próprios e romper a dependência para com o antigo fornecedor. Assim, procurando comprometer a passagem dos seguidores tecnológicos ao segundo estágio da aquisição de capacidade tecnológica que é o da Adaptação.

A Adaptação, também chamada de Imitação por vários autores, é um processo que foi largamente utilizado nas décadas que se seguiram à Segunda Guerra Mundial até anos recentes, tanto por países desenvolvidos como pelos menos desenvolvidos.

O cerceamento da possibilidade de Adaptação das tecnologias desenvolvidas e transferidas passou a ser uma estratégia amplamente adotada em face da situação comum em que o líder em tecnologia tem uma vantagem inicial, mas que pode ser perdida quando os seguidores tecnológicos tentarem e conseguirem reproduzi-la. E, como já se disse, a tecnologia tem altos custos para se produzir (P&D, educação dos consumidores, construção de infraestrutura de apoio, desenvolvimento de produtos e processos complementares), mas baixos

custos para se reproduzir. Portanto, há mais custos em manter-se líder, procurando garantir o aperfeiçoamento constante da inovação, do que ser seguidor.

O bloqueio de forma legal ou negociada (patentes, tratados) procura garantir ao líder tecnológico a manutenção da vantagem constante (BATEMAN & SNELL 1998, p. 480). Mas, com essas barreiras, ser seguidor tecnológico, ou seja, adotar um modelo de Adaptação de tecnologias, está se tornando uma opção pouco viável.

Para que a tecnologia se torne fonte efetiva de desenvolvimento e competitividade é necessário que ela avance um estágio a mais, o estágio criativo, e se converta em Inovação, pois esta é elemento essencial para consolidar o trinômio Ciência, Tecnologia e Inovação (MCT, 2002, p. 26). Não apenas consequência eventual de outros processos, mas sim um objetivo estratégico e primordial a ser perseguido.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD – indica, no seu documento sobre tecnologia, cinco fatores para que a inovação tecnológica promova mudanças no atual contexto (PNUD, 2001, p. 37):

- 1 - As habilidades e competências têm uma importância crucial: a criação e difusão de tecnologia não podem ser obtidas pela simples aquisição de máquinas, equipamentos ou produtos do exterior; mas criando condições para a preparação e formação de pessoal habilitado a identificar os usos potenciais das novas tecnologias e adaptá-los às necessidades específicas daquela sociedade;
- 2 - O setor privado está liderando a pesquisa e o desenvolvimento em nível global: as grandes corporações dominam os avanços em informática, comunicações e biotecnologia. A pesquisa torna-se por demais dependente dos fornecedores de fundos, especialmente os não

governamentais, pois os fundos públicos tornaram-se escassos em virtude dos déficits fiscais e das restrições orçamentárias como medida de estabilização econômica;

- 3 - Passou a haver um mercado de trabalho mundial para profissionais da alta tecnologia: a demanda por competências mais elevadas e por trabalhadores mais qualificados, principalmente a exigência de nível superior para a contratação em grande parte dos postos de trabalho, está crescendo em boa parte das regiões do globo terrestre (FERRANTI, 2003, p. 2);
- 4 - A convergência e concentração dos agentes e recursos em polos de inovação tecnológica. Está sendo criado o que se chama de uma nova geografia digital: a inovação tecnológica tende a se concentrar em nações e polos onde haja facilidades para ela, tais como universidades, instituições de pesquisa, mão-de-obra qualificada, presença de multinacionais (PNUD, 2001, p. 45);
- 5 - A importância das novas regras globais que dão mais valor à questão da transferência de tecnologia. Formas mais rigorosas de controle da propriedade intelectual estão sendo propostas pelos países desenvolvidos e forçosamente aceitas pelos países menos desenvolvidos, apesar da relutância demonstrada nas rodadas de negociação da Organização Mundial do Comércio (OMC).

A presença desses fatores caracteriza o atual panorama de luta pela construção de competitividade tecnológica pelas empresas e nações.

4 COMPETITIVIDADE

Os bens com total ou majoritária carga de conhecimento embutido, es-

pecialmente pela aplicação intensiva de alta tecnologia, tornaram-se os mais valiosos economicamente. Bens com alta quantidade de recursos naturais ou mão-de-obra não especializada perdem o valor e enfrentam um excesso de oferta no mercado mundial.

O principal fator de competitividade hoje é a Inovação e a sua incorporação como valor agregado nos produtos e serviços de uma economia. A fronteira da inovação, estabelecida pelos líderes econômicos, se move para frente com velocidade sempre crescente. Por isso o estabelecimento da agenda mundial de inovação está sempre sendo definido por outros que não os países em desenvolvimento, fazendo com que a capacitação tecnológica se transforme em recurso estratégico para a competitividade no mundo globalizado.

Os países desenvolvidos partem de uma posição de vantagem em relação aos países menos desenvolvidos por sua superioridade técnica e organizacional, determinando a divisão internacional do trabalho e as condições comerciais favoráveis para si e impondo a agenda das discussões econômicas internacionais, inclusive o acesso a novas tecnologias (GILPIN, 1987, p. 94; PERSAUD, 2001, p. 113).

Por parte dos países menos desenvolvidos, há uma pressão internacional dos novos poderes econômicos (*Newly Industrialized Countries*) para juntar-se ao grupo das economias centrais, o que se torna um fator de tensão e disputa sobre o equilíbrio da política econômica global, tornando a questão desenvolvimento *versus* subdesenvolvimento crucial nas relações internacionais (GILPIN, 1987, p. 264). Estes são países que puderam realizar nas décadas de 1960 e 1970 programas de industrialização largamente baseados na *Imitação* (Adaptação) das tecnologias importadas dos países desenvolvidos (KIM & NELSON, 2000, p. 3). E alguns deles já se habilitam a estar entre os 20 maiores exportadores de serviços (reconhecidamente um setor di-

nâmico da economia global) do mundo: China (incluindo Hong Kong), República da Coreia e Taiwan (PERSAUD, 2001, p. 113).

Nesse ambiente, temem-se em muitos países, especialmente os latino-americanos, uma desindustrialização e um retorno à posição de exportadores de matérias-primas, insumos e produtos manufaturados de menor valor agregado.

Fica claro que existe a relação de dependência dos países menos desenvolvidos frente aos desenvolvidos. Esta não é uma relação de interdependência, pois carece de um nível adequado de integração econômica, que é exclusiva dos países desenvolvidos. Entre estes últimos e os países menos desenvolvidos, a relação caracteriza-se por uma troca desigual de produtos de valores agregados muito diferentes (FREITAS, 1987, p. 39).

Nestas últimas duas décadas de profundas mudanças no cenário econômico mundial, a pauta de exportações do Brasil manteve-se, na sua maior parte, composta de produtos com baixa intensidade de tecnologia. Não é coincidência, nesse período, a Balança Comercial do país passar de pequenos *superávits* constantes para déficits recorrentes, com o volume de importações crescendo mais que o das exportações. E o desmonte do *nó* em que se encontra a economia brasileira passa, inicialmente, pelo setor externo, pela necessidade de fontes de divisas constantes. Não cabe aqui entrar em detalhes sobre esse processo macroeconômico, pois este artigo não versa prioritariamente sobre economia, mas sim sobre política de inovação e tecnologia. Mas um dos maiores obstáculos ao crescimento econômico e desenvolvimento sustentável é a dificuldade estrutural de nossa economia em gerar *superávits* na balança comercial e de serviços, o que nos obriga à procura permanente de financiamentos no exterior com uma série de consequências para a economia.

Em suma, a partir do incremento da competição em um mercado globalizado,

os países desenvolvidos passaram a adotar mecanismos de restrição do processo.

Segundo Turban, Rainer Jr. e Potter (2003, p. 507) a *propriedade intelectual* é a propriedade intangível criada por indivíduos ou corporações, e é protegida por leis de *segredo comercial*, *patentes* e *copyright*.

No nível internacional, esses direitos sobre a propriedade do conhecimento são ratificados e passam a ter valor em outros países através de acordos e tratados internacionais, especialmente os chamados *Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (TRIPs).

A propriedade do conhecimento (ou *capital intelectual*, como também é chamada) raramente é transferida, mas sim retida pelos fornecedores (ou provedores) que cedem seu acesso a terceiros para uso limitado, mediante alguma forma de remuneração. Da parte do fornecedor ou provedor, a motivação básica disto é o fato dos bens de informação e conhecimento terem custos altos para se criar, se produzir (P & D), mas terem custos baixos para se reproduzir, fornecer. E para os usuários (não mais consumidores ou clientes), acelera a taxa da inovação tecnológica, o que torna obsoletos com maior rapidez os processos, equipamentos, bens e serviços e onerosa demais a manutenção da propriedade ou sua atualização.

Uma área que é o exemplo mais bem acabado dessa situação, e que interessa muito, pois é uma das bases da atual Revolução Tecnológica e da Sociedade do Conhecimento, são as telecomunicações. O fim das restrições governamentais e as privatizações permitiram a concentração do setor nas mãos de umas poucas multinacionais e a comunicação se tornou uma *commoditie*. Em 1997, a Organização Mundial do Comércio (OMC) patrocinou um acordo mundial do setor, o *Global Telecommunications Agreement*, que permitiu o desmonte das legislações reguladoras e tornou o mercado de telecomunicações um mercado mundial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após duas décadas em que a principal preocupação das políticas econômicas foi a obtenção e manutenção da estabilidade macroeconômica e dos mercados, através da adesão às ideias do assim chamado *Consenso de Washington*, difunde-se cada vez mais a constatação de que a *Nova Ordem Mundial* e o processo de globalização, com a queda das barreiras comerciais e a liberalização dos mercados internos dos países em desenvolvimento, não trouxeram benefícios globais equitativos (STIGLITZ, 2002), mas sim expuseram esses países à competição com as economias das nações mais desenvolvidas, abolindo as redes e barreiras de proteção locais.

Reconhece o Banco Mundial que, apesar do crescimento econômico registrado nessas duas décadas, os benefícios desse mesmo crescimento se concentraram em determinados países e camadas populacionais, persistindo o pouco progresso na qualidade de vida para a maioria das populações dos países pobres e em desenvolvimento (WOLFENSOHN apud THOMAS et. al., 2002, p. XV); alertando ainda para a preocupação de que deve haver uma atenção fundamental à qualidade dos fatores que convergem para gerar o fenômeno do crescimento, condição necessária para se alcançar o desenvolvimento econômico e social (GARCIA et. al., 2001, p. 91).

Para Hamel e Prahalad, a competição não se dá pelo tempo presente, mas sim pelo futuro: abandona-se a visão de competição por fatias de mercado e instala-se a visão de competição por oportunidades, em que a Inovação é fator primordial. Segundo esses autores, “o verdadeiro problema competitivo é retardatários *versus* desafiantes, líderes *versus* inovadores, inerciais e copiadores *versus* criativos” (HAMEL & PRAHALAD, 1995, p. 20).

Dessa maneira, o desafio que se apresenta para as economias em desenvolvimento é como produzir um Sistema Nacional de Inovação adequado ao

atendimento das demandas empresariais, sociais e nacionais e que permita uma dinâmica da mudança técnica que possibilite manterem-se em ambientes competitivos globais.

Para o Brasil, em particular, faz-se imperativo passar do estágio de desenvolvimento tecnológico da Adaptação para o da Inovação, com todas as implicações institucionais que isso acarreta, incluindo o respeito às regras internacionais de propriedade intelectual, para poder transitar entre a competição por um lado das economias dos países centrais e por outro dos países emergentes, como China e Índia, que estão se capacitando tecnologicamente com relativa eficiência (DAHLMAN & FRISCHTAK, 2005, p. 159).

Mesmo porque apenas transitar pelos estágios de capacitação tecnológica de *Absorção* e *Adaptação (Imitação)* já não satisfaz as necessidades que a manutenção da competitividade e a retomada do crescimento apresentam. Faz-se necessário criar condições para se passar da *Imitação* à *Inovação*. A exemplo do que outros países, notadamente do sudeste asiático, fizeram (KIM, 2005).

A exemplo dos projetos nacionais anteriores, a sociedade brasileira está entrando atrasada no processo, não se voltando plenamente para a perseguição dos objetivos e fins a que se destina, em especial na formação de Capital Humano para o processo de Inovação.

REFERÊNCIAS

BATEMAN, T.; SNELL, S. A. *Administração: construindo vantagem competitiva*. São Paulo: Atlas, 1998.

DAHLMAN, C. J.; FRISCHTAK, C. *Os desafios para o Brasil da economia do conhecimento: educação e inovação num mundo crescentemente competitivo*. In: VELLOSO, J. P. R. (org.) *Reforma política e economia do conhecimento*.

Rio de Janeiro: José Olympio, 2006. p. 149-206.

FERRANTI, D. et al. Closing the gap in education and technology. *World Bank Latin American and Caribbean Studies*. Washington: World Bank, 2003. Disponível em: <<http://Inweb18.worldbank.org/External/lac.nsf/>>. Acesso em: 2 out. 2004.

FREITAS, S. G. *Economia internacional: pagamentos internacionais*. São Paulo: Atlas, 1987.

GARCIA, F. et al. Distribuição da educação e da renda: o círculo vicioso da desigualdade na América Latina. In: DOWBOR, L.; KILJSTAJN, S. (org.). *Economia social no Brasil*. São Paulo: SENAC, 2001 a, p. 179-195.

GILPIN, R. *The political economy of international relations*. New Jersey: Princeton, 1987.

HAMEL, G.; PRAHALAD C. K. *Competindo pelo futuro*. 15. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

HOLM-NIELSEN, L. B. Promoting science and technology for development. *The World Bank's Millennium Science Initiative*. Washington: World Bank, 2002. Disponível em : <<http://www1.worldbank.org/education/documents/Wellcome%20MSI%20paper.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2004.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. *A Estratégia em ação: balanced scorecard*. 11. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KIM, L. *Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia*. Campinas: Unicamp, 2005.

KIM, L.; NELSON, R. R. *Technology, learning & innovation: experiences of newly industrializing economies*. New York: Cambridge Press, 2000.

LIBÂNEO, J. C.; OLIVEIRA, J. F.; TOSCHI, M. S. *Educação escolar: políticas, estrutura e organização*. São Paulo: Cortez, 2003.

MCT. *Livro branco: ciência, tecnologia e inovação*. Brasília: MCT, 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/livro_branco_cti.pdf/>. Acesso em: 2 out. 2004.

PERSAUD, A. The age of technology: the knowledge gap. *Foreign Affairs*, New York, vol. 80, n. 2, p. 107-117, mar./abr. 2001.

PESSALI, H. F.; FERNÁNDEZ, R. G. *A tecnologia na perspectiva da economia institucional*. In: PELAEZ, V; SMRECSÁNYI, T. *Economia da inovação tecnológica*. São Paulo: Hucitec, 2006, p. 87-111.

PNUD. *Human development report 2001: making new technologies work for human development*. USA: Oxford, 2001. Disponível em: <<http://www.hdr.undp.org/reports/global/2001/en/>>. Acesso em: 18 out. 2004.

RIBEIRO, P. V. V. *Inovação tecnológica e transferência de tecnologia*. Brasília: MCT, 2001. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/publi/transferenciadetechnologia2.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2004.

STIGLITZ, J.E. *Aglobalização e seus malefícios: a promessa não cumprida de benefícios globais*. 2. ed. São Paulo: Futura, 2002.

TAKAHASHI, T. (org.). *Sociedade da informação no Brasil: livro verde*. Brasília: MCT, 2000. Disponível em: <www.mct.gov.br/Temas/Socinfo/livroverde.htm>. Acesso em: 2 out. 2004.

THOMAS, V *et. al.* *A qualidade do crescimento*. São Paulo: UNESP, 2002.

TURBAN, E.; RAINER JR, K. R.; POTTER, R. E. *Administração de tecnologia da informação*. Rio de Janeiro: Campus, 2003.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SÃO PAULO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
REVISTA SINERGIA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO E RESPONSABILIDADE

Eu,,
....., natural de, nacionalidade,
....., estado civil, profissão,
....., residente e domiciliado (a) na Rua,
..... n.º, Bairro,
....., CEP, Cidade,
....., UF, RG n.º:, SSP/.....,
e-mail:, telefone: e CPF n.º,
....., pelo presente instrumento particular, declaro que o trabalho intitulado,
..... é de minha autoria juntamente com os (co) autores
a seguir:
..... e com ciência deles, autorizo a sua reprodução total, por meio eletrônico e impresso, a
título gratuito, inclusive de fotografias, ilustrações etc. que se refiram a pessoas ou instituições e
que estejam contidas no trabalho, para publicação na Revista *Sinergia*, um periódico científico-
tecnológico do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, situado na
Rua Pedro Vicente, 625 – Canindé - São Paulo – SP – CEP 01109-010.

Se comprovado plágio em qualquer trabalho publicado, a Revista *Sinergia* isenta-se de
qualquer responsabilidade, devendo seu(s) autor(es) arcar(em) com as penalidades previstas
em lei.

A aceitação do artigo pelo Conselho Editorial implica automaticamente a cessão dos direitos
autorais relativos ao trabalho.

São Paulo, de de 20.....

.....
Autor responsável pela inscrição do trabalho

SINERGIA

"associação de vários fatores
para uma ação coordenada"

NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS

Instruções para os autores

Consulte o site:

<<http://www.cefetsp.br/edu/prp/sinergia/submissao.htm>>
para obter um modelo de artigo com normas comuns aplicadas na Revista Sinergia.

- O artigo (original não publicado ou impresso), deve ser enviado para a Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação - Revista Sinergia (IFSP), já revisado, em duas cópias, sendo uma não identificada, digitada em Microsoft Word 97 ou posterior de preferência em formato .rtf (para preservar a formatação - itálico, negrito e etc. - na diagramação impressa e eletrônica);

- Poderá ter até sete páginas, incluindo ilustrações (desenhos, gravuras ou imagens e etc.), legendas, notas e referências, sendo preferível que as ilustrações venham separadas do arquivo com o artigo e referenciadas na posição do texto em que serão inseridas. Em se tratando de artigos de grande relevância para a comunidade científica, o artigo poderá ser um pouco maior;

- As ilustrações escaneadas no tamanho original, devem ter 300 DPI, com extensão .TIFF ou .PSD (trabalhando em Photoshop), tamanho mínimo 7,5x7,5cm e máximo de 15,5x15,5cm. Serão exigidas a indicação de fonte e a autorização para reprodução, quando se tratar de ilustrações já publicadas. Para cópias de telas de computador com a tecla PrtScn do teclado, recomenda-se salvar com a extensão bitmap de 24 bits (.bmp), se for usado o PaintBrush para captura da imagem com o comando Editar->Colar;

- Os originais devem ser precedidos de um Resumo, de 100 a 250 palavras (Norma da ABNT NBR 6028:2003). Preferencialmente, 100 palavras é um bom tamanho de resumo para ocupar apenas 1 página e não comprometer mais que uma página de resumo (entraremos em contato para eventuais cortes). As palavras-chave devem ser antecedidas da expressão *Palavras-chave*, separadas entre elas por ponto e finalizadas também por ponto (Norma da ABNT NBR 6022:2003), em português e inglês;

- Logo abaixo, os dados sobre o autor, assim como titulação, vínculo profissional e endereço, telefone e e-mail para contato;

- Tabelas devem ser enviadas em formato Word/Excell 97 ou posterior;

- O título e o subtítulo do artigo deverão ser centralizados;

- O nome do autor e sua identificação precisam ser centralizados e separados do subtítulo por duas linhas em branco. Caso o artigo tenha vários autores, as informações sobre eles serão separadas por uma linha em branco.

- As referências bibliográficas (de acordo com as Normas da ABNT NBR 6023:2002) conterão somente as obras citadas no texto.

- Em fechamento de edição, daremos preferência para artigos com as normas da ABNT NBR aplicadas.

A revista não se responsabiliza pelas opiniões, afirmações ou questões similares emitidas pelos autores, como também sugerimos a leitura do Termo de Autorização e Responsabilidade, bem como o envio deste termo assinado. Daremos também, preferência para artigos com o Termo de Autorização e Responsabilidade assinados por autor ou co-autor.

Tabela 1 - Orientação básica para formatação

Fonte Times New Roman com espaçamento de entrelinhas simples			
Elementos:	Tamanho:	Aparência:	
Título	13 pontos	Maiúscula/Negrito	Centralizado
Subtítulo	12 pontos	Negrito	Centralizado
Autore(s)	12 pontos	Normal	Centralizado
Breve currículo	8 pontos	Normal	Centralizado
Resumo	12 pontos	Itálico/Negrito	Justificado
Texto	12 pontos	Normal	Justificado
Legendas	8 pontos	Normal	Esquerda
Referências	12 pontos	Normal	Vide-Normas

Tabela 2 - Orientação básica para formatação

Normas aplicadas na Revista Sinergia:	
ABNT NBR 6022:2003	Informação e documentação - Artigo em publicação periódica científica impressa - Apresentação
ABNT NBR 6028:2003	Informação e documentação - Resumo - Apresentação
ABNT NBR 6024:2003	Informação e documentação - Numeração progressiva das seções de um documento escrito - Apresentação
ABNT NBR 10520:2002	Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação
ABNT NBR 6023:2002	Informação e documentação - Referências - Elaboração
IBGE	Normas de apresentação tabular. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993.
ABNT NBR 12225	Informação e documentação - Lombada - Apresentação

A consulta pode ser realizada em bibliotecas.

Contato: Revista Sinergia

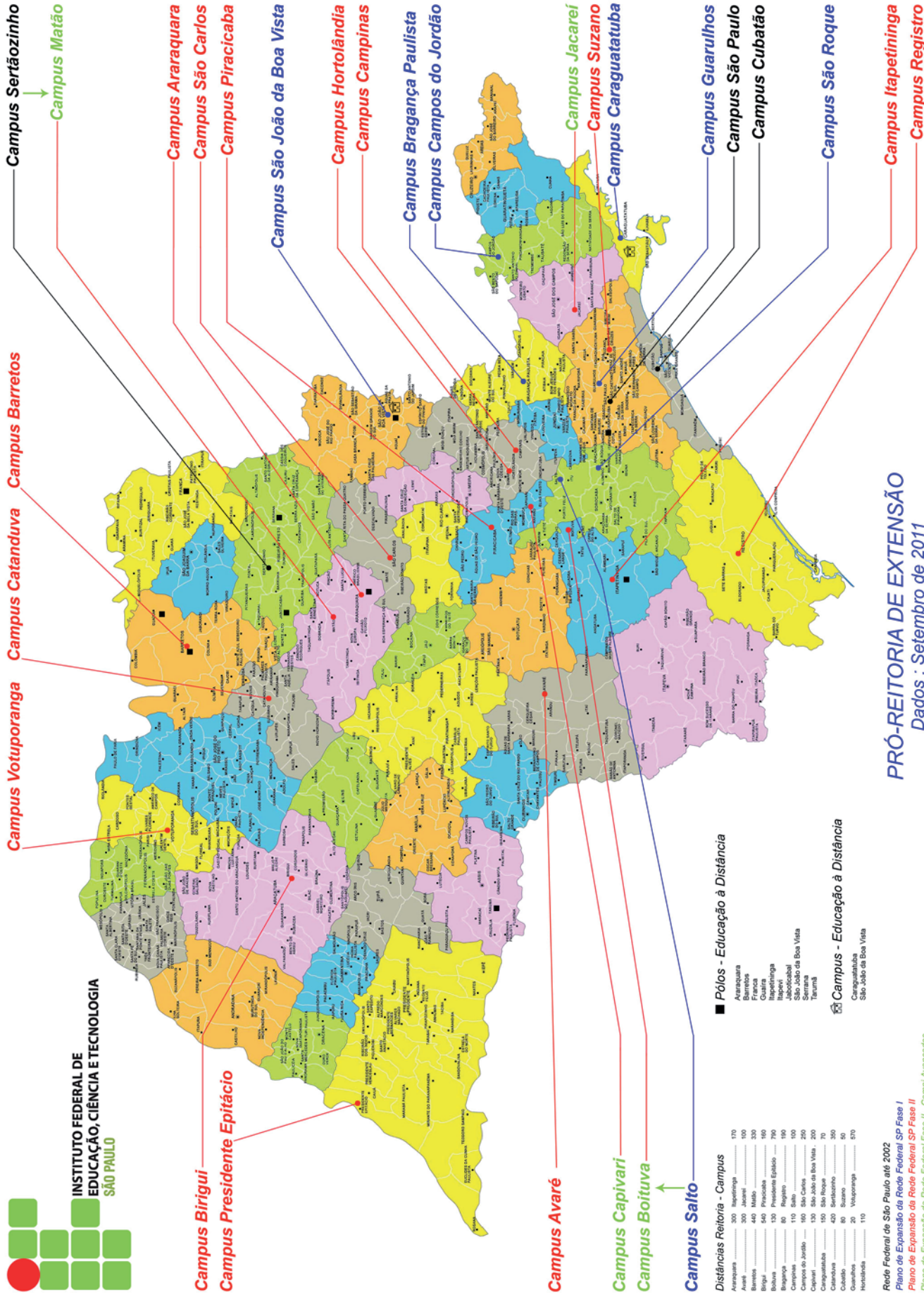
<http://www.cefetsp.br/edu/prp/sinergia>
sinergia@ifsp.edu.br

Raul de Souza Püschel tel.: (11) 2763-7679
Ademir Silva tel.: (11) 2763-7633/2763-7679

Rua Pedro Vicente, 625 — Canindé
São Paulo — SP — CEP 01109-010



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SÃO PAULO**



Campus Votuporanga **Campus Catanduva** **Campus Barretos**

Campus Sertãozinho
↓
Campus Matão

Campus Araraquara
Campus São Carlos
Campus Piracicaba

Campus São João da Boa Vista
Campus Hortolândia
Campus Campinas

Campus Bragança Paulista
Campus Campos do Jordão

Campus Avaré
Campus Jacarei
Campus Suzano
Campus Caraguatatuba

Campus Guarulhos
Campus São Paulo
Campus Cubatão

Campus São Roque

Campus Itapetininga
Campus Registro

Campus Birigui
Campus Presidente Epitácio

Campus Capivari
Campus Boituva
Campus Salto

■ Pólos - Educação à Distância

- Araraquara
 - Araxós
 - Barretos
 - Guatira
 - Itapetininga
 - Jacarei
 - Jaraguá
 - São João da Boa Vista
 - Serra
 - Tarumã
- Campus - Educação a Distância**
- Caraguatatuba
 - São João da Boa Vista

Distâncias Reitoria - Campus

Araçatuba	170
Araraquara	300
Assis	300
Barretos	440
Birigui	540
Boituva	130
Bragança	80
Campinas	110
Capivari	130
Caraguatatuba	420
Cubatão	80
Guarulhos	20
Hortolândia	110
Itapetininga	170
Jacarei	100
Jaraguá	190
Presidente Epitácio	790
Registro	190
São Carlos	250
São João da Boa Vista	200
Suzano	350
Serra	350
Tarumã	350
Votuporanga	570

PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
Dados : Setembro de 2011

Rede Federal de São Paulo até 2002
Plano de Expansão da Rede Federal SP Fase I
Plano de Expansão da Rede Federal SP Fase II
Plano de Expansão da Rede Federal Fase II - Campi Avançados



**MAIS DO QUE
CONHECIMENTO,
CONSTRUÍMOS
VALORES
PARA A VIDA.**

O **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo** oferece ensino profissionalizante gratuito, da educação básica à pós-graduação, para milhares de jovens e adultos.

Com 102 anos de história, o **IFSP** forma cidadãos capacitados nas áreas de Controle e Processos Industriais, Gestão e Negócios, Informação e Comunicação, Infraestrutura, Recursos Naturais, Produção Industrial e Hospitalidade e Lazer.

Você pode optar por 25 cursos técnicos, 20 de nível superior (licenciaturas, tecnologias e engenharias), quatro na modalidade de jovens e adultos, oito cursos de pós-graduação, além de cursos a distância.

Instituto Federal de São Paulo. O futuro começa aqui.

CAMPI: ARARAQUARA • AVARÉ • BARRETOS • BIRIGUI • BOITUVA • BRAGANÇA PAULISTA • CAMPOS DO JORDÃO • CAPIVARI
CARAGUATATUBA • CATANDUVA • CUBATÃO • GUARULHOS • HORTOLÂNDIA • ITAPETININGA • MATÃO • PIRACICABA
PRESIDENTE EPITÁCIO • SALTO • SÃO CARLOS • SÃO JOÃO DA BOA VISTA • SÃO PAULO • SÃO ROQUE • SERTÃOZINHO • SUZANO
VOTUPORANGA **POLOS EAD:** ARARAQUARA • BARRETOS • FRANCA • GUAIRÁ • ITAPEVI • ITAPETININGA • JABOTICABAL
SÃO JOÃO DA BOA VISTA • SERRANA • TARUMÃ • PARA CONHECER MAIS SOBRE A FEDERAL, ACESSE WWW.IFSP.EDU.BR



**INSTITUTO FEDERAL
SÃO PAULO**