

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 6 - Nº 66 - Junho / 2011
ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

O TRABALHO E A SAÚDE DAS COMUNIDADES PESQUEIRAS DA BAÍA DE GUANABARA – Rosa M.F.M, Mattos U.A.O, Santos P.R	03
UMA NOVA GERAÇÃO DE AÇOS PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA MUNDIAL - M. S. Martins, M. S. Pereira, W. R. P. Mendonça	07
IDENTIFICAÇÃO DE UMA PLANTA EXPERIMENTAL DE PH UTILIZANDO TÉCNICAS LINEARES E NÃO LINEARES - C. H. F da Silva	14

Atendimento:
sodebras@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>



O TRABALHO E A SAÚDE DAS COMUNIDADES PESQUEIRAS DA BAÍA DE GUANABARA

ROSA M.F.M, MATTOS U.A.O, SANTOS P.R

ISSN 1809-3957

RESUMO

O artigo tem como objetivo discutir o trabalho e a saúde dos pescadores artesanais da Baía de Guanabara sob o aspecto da precariedade e vulnerabilidade a que estão expostos. A atividade desenvolvida durante décadas está ameaçada de acabar devido principalmente à degradação do ambiente e a diminuição progressiva da pesca. Essa situação tem consequências sociais, econômicas e ambientais, pois são diferentes comunidades instaladas ao entorno da baía que ainda sobrevivem da atividade pesqueira. O estudo tem caráter exploratório e descritivo com metodologia quanti-qualitativa, utilizando entrevistas semi estruturadas em diferentes comunidades pesqueiras da Baía de Guanabara. Foram selecionados três municípios (São Gonçalo, Itaboraí e Magé) entrevistando 100 pescadores e catadores de caranguejo que responderam questões sobre o trabalho e a saúde. Os pescadores e catadores de caranguejo são trabalhadores que se submetem a uma extensa e dura jornada de trabalho, estão expostos a vários riscos no seu dia a dia como acidentes com embarcações, com os apetrechos de pesca, com o próprio pescado, afogamentos, além de estarem expostos a grande radiação e variações climáticas. O trabalho dos pescadores encontra-se ameaçado de prosseguir sendo necessário que espaços de discussão sejam fortalecidos com a mobilização e atuação das comunidades pesqueiras, para busca da revitalização da baía e uma melhor qualidade de vida.

PALAVRAS CHAVES: vulnerabilidade, pescadores, saúde do trabalhador, precariedade.

ABSTRACT

The article aims to discuss the work and health of fishermen in Guanabara Bay from the aspect of insecurity and vulnerability that are exposed. The activity developed over decades are threatened to end mainly due to environmental degradation and progressive reduction of fishing. This situation has profound social, economic and environmental, as they are installed at various communities around the bay that still survive from fishing activity. The study is exploratory and descriptive with quantitative and qualitative methodologies, using semi-structured in different fishing communities of Guanabara Bay. We selected three cities (São Gonçalo, Itaboraí and Mage) interviewed 100 fishermen and crab collectors who answered questions about work and health. The fishermen and crab collectors are workers who undergo an extensive and difficult day of work, are exposed to various risks in their day to day and accidents with boats, with fishing gear, with their own fish, drowning, and are exposed to high radiation and climate variations.

The work of fishermen is threatened with being required to pursue opportunities for discussion will be strengthened with the deployment and operation of fishing communities to search for the revitalization of the bay and a better quality of life.

KEYWORDS: Vulnerability, Fishermen, Workers' Health, Precarious.

INTRODUÇÃO

Na Baía de Guanabara os pescadores e catadores de caranguejo enfrentam as precárias condições do ambiente degradado, sendo assim, estão mais vulneráveis a determinados agravos a saúde. Eles atuam no mar ou mangue fazendo movimentos repetitivos, com muito esforço físico, além do excesso de peso, e do aumento da carga horária.

O artigo tem por objetivo discutir a situação do trabalho e saúde desses trabalhadores sob o aspecto da precariedade e vulnerabilidade a que estão expostos.

A degradação da baía tem consequências sob o ponto de vista socioambiental com a exclusão de inúmeras famílias que se mantêm com a pesca e cata de caranguejos da região. A atividade pesqueira artesanal desenvolvida há décadas encontra-se ameaçada de continuar afetando centenas de trabalhadores e seus familiares.

As comunidades pesqueiras da Baía de Guanabara podem ser consideradas comunidades típicas de resistência, possuem grande conhecimento de pesca artesanal passada por seus antepassados, utilizam esse estuário para retirar o seu sustento, baseado em formas não capitalistas de acumulação. Atualmente algumas técnicas de pesca não são mais praticadas devido à diminuição e extinção de várias espécies de pescado.

São diversas situações vivenciadas pelos pescadores que caracterizam um quadro de vulnerabilidade. Uma delas é causada não só pelos baixos rendimentos, mas pela variação sazonal dos pescados e a diminuição da pesca atingindo também toda unidade familiar do pescador.

A baixa escolaridade dos pescadores também é um fator de exclusão, já que esses trabalhadores não conseguem inserção em trabalhos formais, tendo na pesca a alternativa para continuar sobrevivendo.

A pobreza e a invisibilidade das comunidades pesqueiras estão associadas, pois os trabalhadores da pesca não conseguem ser percebidos num cenário onde existem diversas atividades econômicas altamente lucrativas.

A atividade pesqueira é considerada de risco 3 (potencialmente perigosa) segundo Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)-2000/2002, por expor os

trabalhadores a possíveis riscos de acidentes com embarcações, afogamentos, acidentes com os apetrechos de pesca, esforços físicos acima dos limites do corpo, problemas de postura inadequada, mudanças climáticas, trabalho noturno, ruído, acidentes com o pescado, contato com agentes patológicos em ambiente mal saneado e outros, sabe-se que os registros de acidentes envolvendo os pescadores são subnotificados, isto devido a vários fatores, com o próprio desconhecimento da importância desses registros por parte dos próprios pescadores.

Alguns autores descrevem a relação que ocorre entre a degradação de certos ambientes e a questão social. Diegues (2004), entende que a crescente degradação dos ecossistemas costeiros parece ser o fator que mais coloca em risco a reprodução social dos pescadores que trabalham de forma artesanal ou em pequena escala.

Acselrad (2004) observa que certas localidades destacam-se por serem objetos de uma concentração de práticas ambientalmente agressivas, atingindo populações de baixa renda. Esses locais são deixados de lado, sem nenhuma preocupação ambiental, como exemplo, a população que vive próxima a lixões e aterros e indústrias poluentes.

Acselrad (2004) ainda destaca que tais localidades são chamadas de “zonas de sacrifício” ou “paraísos de poluição” onde a desigualdade ambiental favorece os interesses econômicos predatórios.

Para Bursztyn (2001) Os mais pobres são tidos como riscos ao ambiente, devido às altas taxas de natalidade; à degradação do meio físico, pois moram em encostas; despejam esgotos em rios e a céu aberto; são vetores de doenças, como várias doenças infecto- contagiosas; e, além de outros, competem com recursos escassos do ambiente, como a água.

Escorel (1999) enfatiza que desigualdade e pobreza interagem; o comportamento de uma reforça o desempenho da outra. Déjourns (1987) ainda acrescenta que a natureza das agressões à saúde do trabalhador depende, basicamente, das condições materiais e ambientais do trabalho e da organização do trabalho em si.

É importante ressaltar que a maior parte dos efeitos negativos da urbanização recai sobre as populações mais carentes gerando situação de extrema desigualdade social e de saúde. (Torres, 2000) Existe no entorno da Baía de Guanabara

uma grande população que convive com as precárias condições de saneamento e de vida.

Para Giatti (2009) inúmeras são as possibilidades em que problemas ambientais interferem direta ou indiretamente na saúde humana.

Para os pescadores, a saúde é vista como o maior bem, principalmente para quem depende diariamente da força dos músculos e da disposição para enfrentar as variações do tempo e os riscos da atividade, porém devido às circunstâncias do ambiente, os pescadores acabam potencializando os riscos nas suas atividades diárias. (Rosa, 2010)

Além de a saúde representar um direito dos cidadãos e da coletividade, de ser um dos maiores ideais de todas as coletividades que estabelecem padrões para sua qualidade de vida, saúde é requisito e propulsor de desenvolvimento. (Minayo, 2007)

Minayo (2007) observa que a miséria, a fome, e o desespero que podem advir do fato de o trabalhador estar doente, mostram que na prática, seu corpo é sua fonte de subsistência e única estratégia de reprodução.

METODOLOGIA

O estudo é baseado em levantamento bibliográfico sobre o tema proposto, através de artigos, livros, teses, sites e pesquisa de campo, de caráter quanti-qualitativa, com uma amostra de 100 trabalhadores (80 pescadores e 20 catadores de caranguejos) das comunidades pesqueiras de São Gonçalo, Itaboraí, Magé, utilizando questionários semi-estruturados nas entrevistas. Também foram realizadas visitas aos locais para observação e investigação dos processos de trabalho, dos fatores de riscos de acidentes e doenças, condições de moradia e contatos com os líderes locais das associações de pesca e de moradores da região estudada. A entrevista ocorreu no próprio local de trabalho do pescador ou do catador de caranguejo, ou seja, nas praias, próximo aos mangues e canais da região e nos locais de venda do pescado. Esses trabalhadores foram interpelados se gostariam de participar dessa pesquisa que tinha como objetivo conhecer mais a atividade pesqueira e as dificuldades e problemas típicos enfrentados no dia a dia.

Os dados obtidos serão sistematizados no aplicativo EPI-INFO versão 3.5.1, constituindo um banco de dados da amostra, o que deve permitir elaborar diversas tabelas com cruzamentos das informações e fazer a análise das mesmas.

RESULTADOS

Os resultados das entrevistas sobre a saúde dos pescadores indicam determinadas doenças relacionadas à sobrecarga de peso e ao trabalho e a exposição às variações climáticas. Os trabalhadores da pesca sentem os reflexos da precariedade da atividade e reclamam de sinais de adoecimento. Os pescadores que não recebem auxílios sociais, nem no período do defeso, necessitam unicamente do corpo para sobreviver. Ao adoecer precisam de ajuda de terceiros ou mesmo de trabalhar mesmo doentes. Os relatos são bem enfáticos; “a saúde é tudo pra gente”.

A desigualdade ambiental também está presente nos cuidados com a saúde. A falta de saneamento e de serviços públicos na região aumenta a vulnerabilidade. Os trabalhadores da pesca reclamam da falta de hospitais, postos de saúde e do atendimento médico, sendo que 37% dos entrevistados não procuram o médico quando estão doentes, recorrendo a farmácias ou mesmo às ervas medicinais. A dificuldade para cuidar da saúde é relatada por quem não pode pagar planos de saúde e médico particular.

Uma das maiores reclamações dos trabalhadores vem a ser as doenças osteomusculares traduzidas por problemas na coluna (60%), bursites (29%) relacionadas com a sobrecarga de peso e de trabalho. As variações climáticas enfrentadas pelos pescadores em suas atividades indicam doenças respiratórias como pneumonias (23%) e sinusites (20%).

65% dos entrevistados não fazem exames médicos periódicos, pois não tem hábito de ir ao médico regularmente e os serviços médicos são bem precários na região. Alguns problemas como o alcoolismo, a insônia (28%) e a depressão (14%) são relatadas podendo indicar a precariedade do trabalho, a vulnerabilidade social e o isolamento dos pescadores. Muitos pescadores exprimem o sentimento da solidão e do abandono. A bebida e outras drogas são utilizadas principalmente para o esquecimento

dos problemas, para esquentar o frio no mar, para passar as horas e para afastar as tristezas. Porém, são poucos os que assumem a doença ou o abuso do álcool e das drogas. 73% dos entrevistados admitem o uso de bebida alcoólica com frequência.

Surgem nesse cenário, outros riscos relacionados com a proximidade ao meio urbano; como a violência e o tráfico de drogas nas comunidades de entorno à baía.

CONCLUSÃO

As comunidades pesqueiras da Baía de Guanabara sentem diretamente os reflexos da diminuição progressiva da pesca nesse estuário. O peixe torna-se escasso, é necessário ficar mais tempo no mar ou mangues; os materiais já não duram como antes, devido principalmente a grande quantidade de lixo retirada nas redes. Muitos pescadores não têm opção, apenas pescam, outros procuram compensar a baixa produtividade em bicos ou outras atividades temporárias.

Observa-se que a pesca artesanal está sendo inviabilizada em detrimento de outras atividades desenvolvidas no ambiente e os pescadores admitem que a atividade está próxima de acabar, apesar da vocação natural da baía para a pesca. É fundamental que ações sejam tomadas para que a Baía de Guanabara possa ser revitalizada e que as suas funções ambientais como o lazer e a pesca possam promover uma maior qualidade ambiental e conseqüentemente uma melhor qualidade de vida para sua população.

As comunidades pesqueiras da Baía de Guanabara, ainda presentes no seu entorno, ao desenvolverem suas atividades mantêm um elo de dependência com o ecossistema e nos remetem a pensar na sua importância, como parte de um equilíbrio e de toda a dinâmica representada pelas relações sócio-ambientais existentes.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Acselrad, H. (org.) Conflito social e meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Relume-Dumará; 2004 . pp.7-18.

Bursztyn, M.(org.) Difícil sustentabilidade. Política Energética e Conflitos Ambientais, Rio de Janeiro, Garamond, 2001, pp. 59-76.

Déjours, C. A Loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho. São Paulo: Cortez/Oboré, 1987.

Diegues, A.C. A pesca construindo sociedades. São Paulo,NUPAUB/USP, 2004.

Escorel, Sarah. Vidas ao Léu: trajetórias de exclusão social. Rio de Janeiro, Editora FIOCRUZ; 1999.

Minayo, M.C.S. O Desafio do Conhecimento: Pesquisa Qualitativa em Saúde. 10ª Ed. São Paulo,Hucitec, 2007.

Rosa, M.F.M. & Mattos, U.A.O. A saúde e os riscos dos pescadores e catadores de caranguejo da Baía de Guanabara, Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 15, suplemento 1, junho 2010,p.1543-1552

Torres, H. Demografia de riscos ambientais. In: Torres, H.; Costa, H. População e Meio Ambiente. São Paulo; Editora SENAC, 2000.



M. S. Martins, M. S. Pereira, W. R. P. Mendonça,
UNESP - FEG

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as principais características mecânicas e microestruturais do aço plano utilizado em veículos comerciais classificado como “complex phase”. Aços de fases complexas (complex phase steels) apresentam uma microestrutura multiconstituída bastante peculiar, de fases duras e de menor dureza intercaladas, combinado com precipitados finos e dispersos entre as fases, garantindo assim, excelentes propriedades mecânicas no que diz respeito à resistência e ductilidade. O desenvolvimento destas novas classes de aços justifica-se pela demanda crescente da indústria automotiva internacional em se reduzir peso nos veículos e com isso melhorar o consumo de combustível e automaticamente requisitos de segurança.

ABSTRACT - A NEW GENERATION OF STEEL FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

This paper aims to present the main properties and microstructure of flat steel used in light vehicles classified as “complex phase”. Complex phase steels have a very peculiar microstructure, phase hard and less hard merged, combined with fine precipitates among the phases, ensuring excellent mechanical properties with respect to the strength and ductility. The development of these new steel grades is justified by the increasing demand of international automotive industry to reduce weight in vehicles and thus improve the performance of consumption of fuel and safety requirements.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, o principal objetivo das siderúrgicas tem sido fomentar as montadoras de veículos com um material avançado, com alta resistência, para que fossem atingidos, em seu produto final, os seguintes requisitos: aumento da integridade estrutural e da resistência ao choque com redução do peso e do custo. A estes requisitos também poderia ser adicionada a demanda crescente dos consumidores por maior segurança e por maior quantidade de itens de conforto nos automóveis. Além disso, quando feita uma análise atual e global da utilização e das potencialidades do aço, deve-se incluir as questões ambientais envolvidas tais como redução no consumo de combustível, diminuição na emissão de poluentes e melhores condições de reciclagem do material.

Em 1994, o projeto ULSAB (Ultralight Steel Auto Body), financiado e apoiado tecnicamente por um consórcio internacional envolvendo 35 empresas siderúrgicas de 18 diferentes países (inclusive as brasileiras USIMINAS e CSN) foi uma das mais importantes contribuições em inovação tecnológica dada pela indústria automotiva, voltada não ao desenvolvimento propriamente dito de novos aços, mas sim ao aprimoramento do uso de variedades já

comercializadas no mercado, em um novo conceito de fabricação de automóveis. O objetivo inicial do projeto ULSAB foi a criação de uma carroceria para veículo que fosse mais leve e, conseqüentemente, consumisse menos combustível e apresentasse menor impacto ambiental, sem comprometer outros itens de desempenho: conforto/tamanho, segurança e custo.

A redução de peso foi conseguida, principalmente, pela substituição do aço ao carbono tradicional pelos aços com propriedades mecânicas superiores. O desenvolvimento de um automóvel leve, seguro e eficiente quanto ao consumo de combustíveis foi possível mediante a utilização de novos tipos de aços, a serem aplicados na fabricação deste veículo do futuro, entre os quais estão os aços de alta-resistência e os aços avançados de alta resistência.

A obtenção de estruturas mais leves para os automóveis, sob um aspecto técnico, baseia-se na utilização de aços com graus de resistência mais elevados, contudo, torna-se importante a adequação de alta resistência com boa conformabilidade. Na Figura 1 é representada uma classificação dos níveis de resistência em função do alongamento de diversos aços inseridos dentro do conceito de classificação do



Figura 1. Aços de Alta Resistência, conforme conceito de classificação do projeto ULSAB [1]

Na designação dos tipos de aços utilizados no projeto ULSAB, os aços de baixa resistência (Low-Strength Steels), dentre eles os aços IF (Interstitial-Free), apresentam limite de escoamento inferior à 270 MPa. Os aços C-Mn, os aços endurecíveis ao calor (Bake Hardenable – BH), os aços microligados de alta resistência e baixa liga (High Strength Low Alloy- HSLA), denominados de alta resistência convencionais (High Strength Steels – HSS Conventional) são aqueles que apresentam limite de escoamento entre 270 e 700 MPa; enquanto os aços de ultra alta resistência de última geração ou avançados (Advanced High Strength Steels – AHSS) apresentam limites de escoamento superior à 700 MPa, entre eles os aços bifásicos (Dual-Phases - DP), aços TRIP, aços de fases complexas (Complex Phases – CP) e os aços martensíticos (Mart).

Atualmente, o ULSAB-AVC é a mais recente contribuição das indústrias siderúrgicas mundiais, oferecendo uma série de iniciativas, e de soluções, para aplicação do aço aos desafios crescentes da indústria automobilística, especialmente para os veículos a serem produzidos no século 21, e de forma ainda mais específica para os produzidos a partir de 2004. Os conceitos do projeto ULSAB-AVC foram segurança, viabilidade, eficiência no consumo de combustíveis e reciclabilidade. [2]

2. Aços complex phase (cp)

Na década 90, a indústria do aço sofreu um processo de revolução por desenvolver aços avançados de alta resistência mecânica (AHSS)

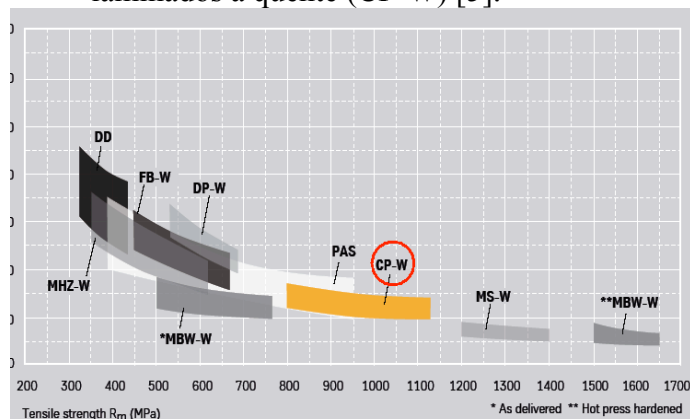
em substituição aos aços HSLA. Esses aços avançados apresentam uma microestrutura multiconstituída, a qual contém martensita, bainita e/ou austenita retida, em quantidades suficientes para produzir um material de alta resistência à tração, com limites de escoamento superiores a 550 MPa e um alto alongamento. Essas propriedades são importantes para o projeto dos veículos modernos, que buscam uma maior segurança aos passageiros.

Em meados de 1995, surgiram os aços com altíssima resistência como os aços CP (Complex Phases) e os aços TM (Martensitic Steels). Aços de fases complexas (Complex Phase Steels) apresentam uma microestrutura multiconstituída bastante peculiar, de fases duras e de menor dureza intercaladas, combinado com precipitados finos e dispersos entre as fases, garantindo excelentes propriedades mecânicas no que diz respeito à resistência e ductilidade.

Caracterizados por apresentarem alta deformabilidade, alta capacidade de absorção de energia e deformação, os aços do tipo Complex Phase (CP) representam uma transição para aços de ultra-alta-resistência, exibindo níveis de resistência à tração na ordem de 800 MPa. Bastante similares aos aços TRIP, são obtidos por meio de tratamentos isotérmicos em temperaturas intermediárias, formando estruturas muito finas de ferrita e outros constituintes [5], reforçados por finos precipitados, visto a adição de pequenas quantidades de Nióbio, Titânio e Vanádio [3].

2.1 Processamento

Os elementos de liga desempenham um papel importante na determinação da microestrutura, contribuindo para a força final do produto. Diferentes tipos de microestruturas podem ser obtidas, através da mesma composição do aço. Por isso, é necessário controlar também a formação da microestrutura por meio de tratamentos térmicos apropriados [4]. Os aços Complex Phase podem ser produzidos através dos processos de laminação a quente e a frio. A Figura 2 mostra a relação de resistência a tração e alongamento dos aços Complex Phase laminados a quente (CP-W) [5].



2.2 Microestrutura

Quanto ao aspecto microestrutural, os aços Complex Phase são constituídos de ferrita fina, bainita e martensita, eventualmente acrescida de uma pequena quantidade de austenita retida [4]. Além disso, pequenas quantidades de precipitados micro-ligados, nióbio e/ou titânio, utilizados como reforço [4]. A quantidade presente de austenita retida neste aço não apresenta teor que possibilita sua transformação e/ou sua estabilização através do efeito TRIP. A Figura 4 mostra uma microestrutura de um aço Complex Phase laminado a quente, onde foi realizado um ataque químico para obtenção de uma metalografia colorida, através do reagente Klemm [5].

Figura 2 - Comparação das propriedades mecânicas do aço Complex Phase, laminado a quente (CP-W), com outros aços de alta resistência [5]

A Figura 3 mostra a relação de resistência a tração e alongamento dos aços Complex Phase laminados a frio (CP-K) [5]

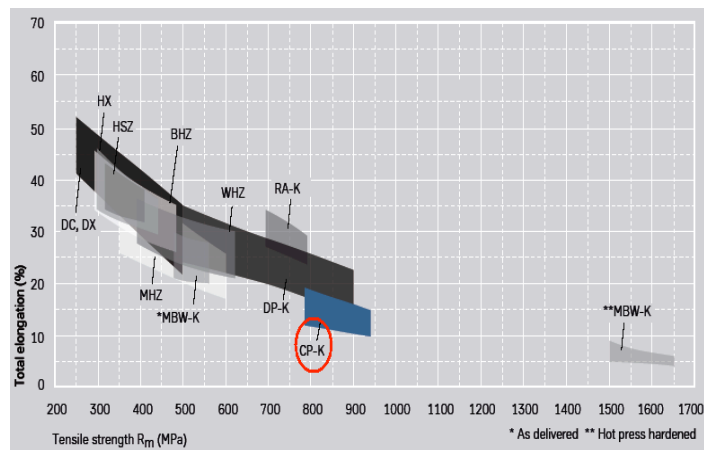


Figura 3 - Comparação das propriedades mecânicas do aço Complex Phase, laminado a frio (CP-K), com outros aços de alta resistência [5]

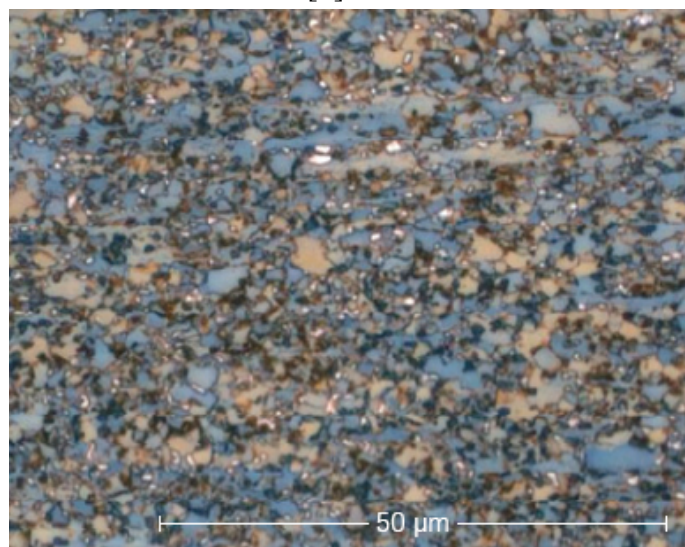


Figura 4 - Microestrutura refinada de um aço Complex Phase laminado a quente atacado com o reagente Klemm, por metalografia colorida [5]

2.3 Propriedades Mecânicas

Apesar dos desafios inerentes ao controle dos parâmetros de processamento para atingir a microestrutura multiconstituída, os aços Complex Phase oferecem combinações de resistência e ductilidade mais altas que os aços bifásicos. Uma comparação entre as propriedades mecânicas dos aços avançados de alta resistência, aplicadas no projeto ULSAB-AVC, é mostrada na Figura 5.

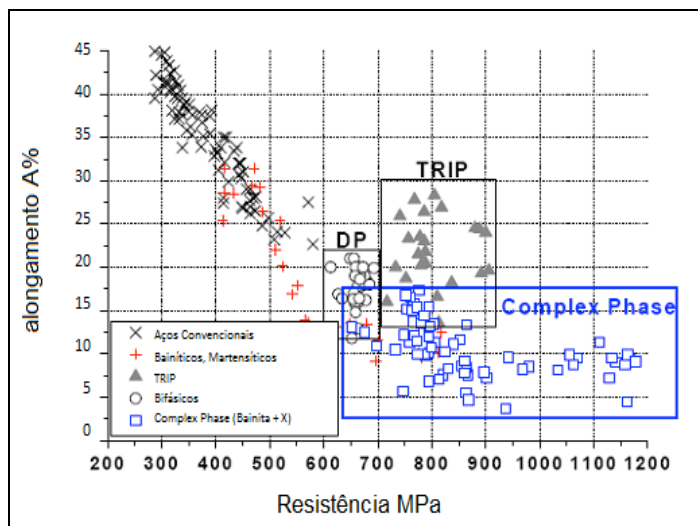


Figura 5 - Relação entre alongamento e limite de resistência à tensão dos tipos de aços utilizados no projeto ULSAB-AVC [4].

Conforme a Figura 5, o aço Complex Phase apresenta uma alta resistência e alongamento apreciável em relação aos aços TRIP e Dual Phase, podendo apresentar uma resistência máxima entre 800 e 1200 MPa. Suas propriedades são caracterizadas por uma alta resistência, boa conformabilidade, alta absorção de energia e capacidade de deformação [4].

Os aços Complex-Phase apresentam alta resistência à fadiga. Conforme a Figura 6, curva de fadiga, esses aços apresentam uma maior resistência a fadiga do que os aços Dual Phases e os aços TRIP. Entretanto, são sensíveis a picos de alta tensão, isto é, carregamento abusivo [5].

Os aços (CP) tem uma curva de fadiga continua similar a do aço Dual Phase (Figura 6), um nível de resistência de 1200 MPa e alongamento de 10% [4].

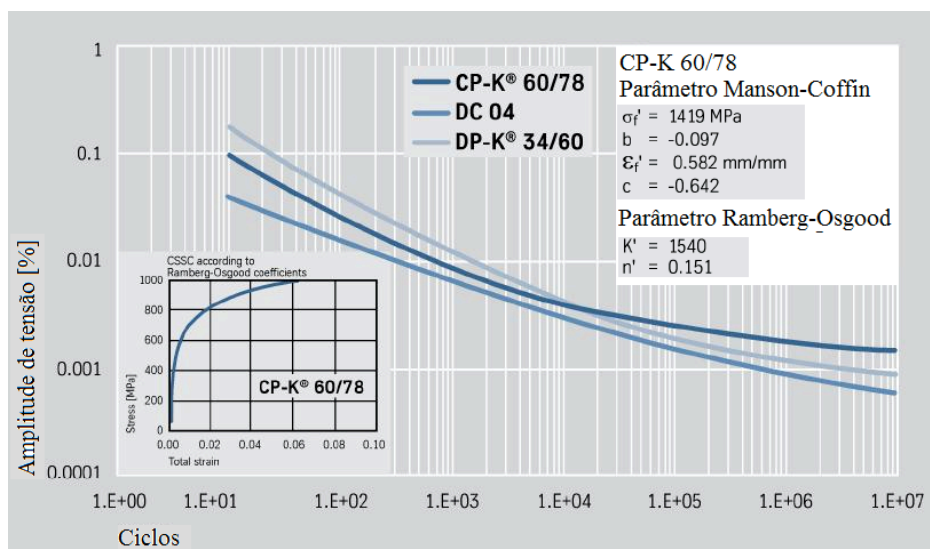


Figura 6 - Curva de fadiga do aço CP-K 60/78 em comparação aos aços DC 04 e DP-K 34/60 [5].

Um aspecto importante é o aumento da resistência após a conformação e a pintura – bake hardenability. Conforme a Figura 7, enquanto a resistência tende a diminuir com o aumento da deformação nos aços BH (Bake Hardening), nos aços Dual Phase, TRIP, Martensíticos e Complex Phase essa propriedade aumenta [6].

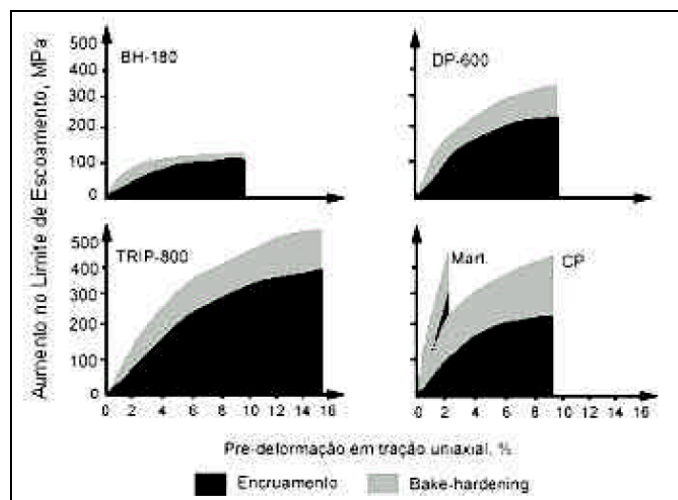


Figura 7 - Evolução da resistência mecânica devido ao encruamento ao envelhecimento (Bake hardenability) nos aços de alta resistência de última geração e nos aços Bake Hardening [6].

2.4 Aplicações

Devido as suas propriedades, geralmente são utilizados na indústria automotiva, em regiões que requerem alta resistência e capacidade de absorção de energia. Tal como pára-choques e reforços de coluna B dos automóveis. A Figura 8, a seguir mostra um exemplo de aplicação do aço Complex Phase pela indústria automotiva, onde o reforço da coluna B dos veículos poderá apresentar o dobro da resistência de um aço microligado convencionalmente utilizado.



Figura 8 - Exemplo de aplicação do aço Complex Phase pela indústria automotiva, o reforço da coluna B dos veículos. [5]

Devido as boas características de impacto que esse material apresenta, a sua usabilidade como reforço das colunas dos veículos o faz aumentar os aspectos de segurança para os passageiros, fator que é levado em consideração pelos consumidores no momento da aquisição de um novo automóvel. A Figura 9 mostra como a utilização de um aços de alta resistência na coluna B dos veículos aumentou os quesitos de segurança para os ocupantes.

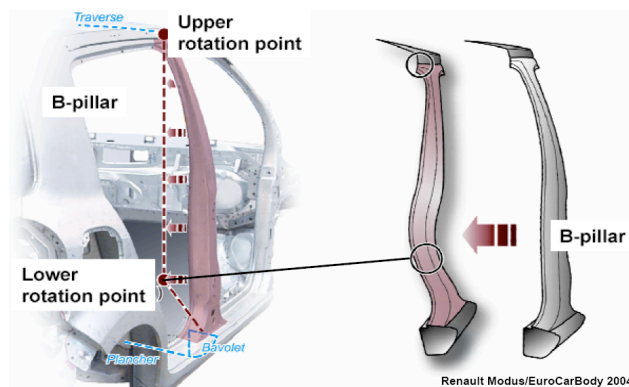


Figura 9 - Utilização de um aço de alta resistência na coluna B dos veículos aumentou os quesitos de segurança para os ocupantes. [7]

3. análises realizadas com o aço complex phase

O material utilizado neste trabalho é um aço Complex Phase, laminado a quente (CP-W 800). Suas principais aplicações estão destinadas à indústria automotiva. A composição química está representada pelas porcentagens dos elementos de liga (% em peso) na Tabela 1 e suas propriedades mecânicas estão listadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição Química do Aço Complex Phase CP-W 800 (Renault do Brasil, 2009)

<i>Elemento de Liga</i>	<i>% em Peso</i>
Carbono (C)	0,120
Silício (Si)	0,560
Manganês (Mn)	1,570
Fósforo (P)	0,013
Enxofre (S)	0,006
Cromo (Cr)	0,003
Níquel (Ni)	0,018
Molibdênio (Mo)	0,005
Alumínio (Al)	0,034
Cobre (Cu)	0,000
Titânio (Ti)	0,096
Vanádio (V)	0,005
Nióbio (Nb)	<0,005
Estanho (Sn)	0,000
Boro (B)	<0,005

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Aço
Complex Phase CP-W 800 (Renault do Brasil,

<i>Bobina</i>		<i>Limite de Ruptura LR(N/mm2)</i>	<i>Limite de Escoamento LE(N/mm2)</i>
<i>CPW 01</i>	<i>800</i>	<i>953,1</i>	<i>722,0</i>
<i>CPW 02</i>	<i>800</i>	<i>948,7</i>	<i>706,7</i>

A análise microestrutural do aço Complex Phase tem como objetivo apresentar e discutir as diferentes fases encontradas no material através da aplicação de dois reagentes químicos usados para revelação da estrutura. O ataque químico com Nital 2% revelou claramente os contornos de grãos das fases presentes no aço CP. Apenas com esse ataque pode-se identificar a fase ferrítica em tom cinza claro e as fases martensítica e bainítica em tom cinza escuro. A separação entre a fase martensítica e bainítica não é possível apenas com o reagente Nital 2%. Os ataques químicos foram feitos com tempos entre 5 e 10s. A Figura 10 ilustra a fotomicrografia longitudinal do aço com o reagente Nital 2%, utilizando um aumento de 1000x. [2]

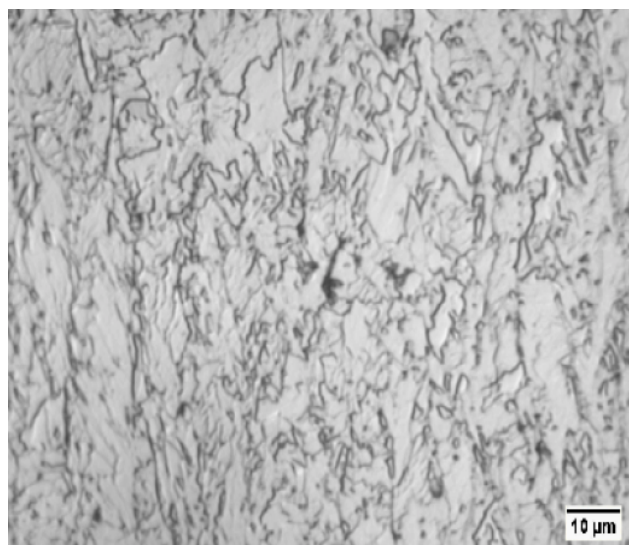


Figura 10 - Fotomicrografia do aço Complex Phase (longitudinal). Ampliação de 1000x, Reagente: Nital 2%, 7s de ataque [2]

O reagente LePera revelou no aço Complex Phase três diferentes colorações. A Figura 11 representa estes constituintes onde, a fase ferrítica é representada em maior fração volumétrica, pela coloração azul. A fase que surge em tonalidade marrom é denominada bainita, e por fim a região mais clara, em

2009)

<i>Alongamento(%)</i>	<i>Índice R</i>	<i>Índice n</i>
<i>12,3</i>	<i>0,72</i>	<i>0,08</i>
<i>12,1</i>	<i>0,73</i>	<i>0,08</i>

tonalidade tendendo ao branco, contém os constituintes martensita e austenita retida. [2]

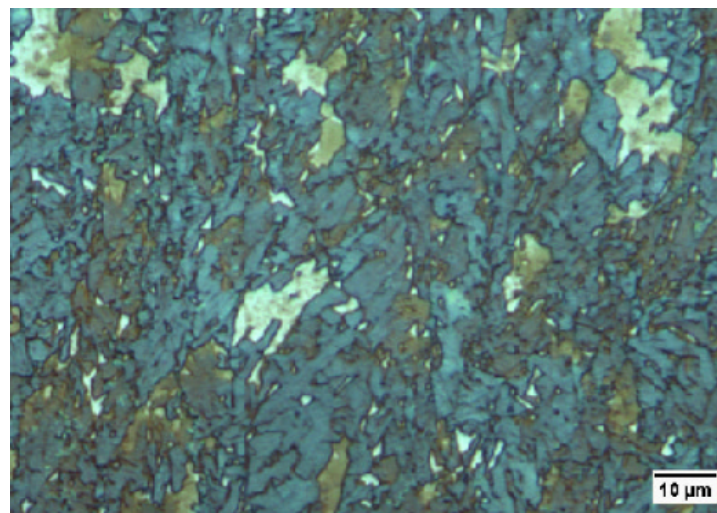


Figura 11 - Fotomicrografia do aço Complex Phase (longitudinal). Ampliação de 1000x, Reagente: LePera 25s de ataque [2]

4. conclusões

A partir da caracterização microestrutural de um aço avançado de alta-resistência Complex Phase submetido ao reagente Nital, foi possível delimitar os contornos de grãos e possibilitou a separação das fases ferrítica e martensítica/bainítica. Com a aplicação do reagente LePera foi possível isolar e identificar as fases presentes nesse aço, como ferrita (azul), bainita (marrom) e martensita (branco) [2]

O percentual de utilização de aços avançados, como o Complex Phase, será ampliada num futuro próximo devido as suas características mecânicas voltadas para atender rigorosos requisitos de segurança para os passageiros, em caso de colisão dos veículos.

5. Referências

Armco, disponível em: <www.armco.com.br>. Acesso em: 09 junho 2008.
Minto, T.A, ET AL, Microstructural Characterization of an Advanced Steel Complex Phase, disponível em: <

<http://prope.unesp.br/pibic/> >. Acesso em 01 de março de 2010.

IISI – INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE, disponível em: <www.worldautosteel.org>. Acesso em: 18 junho 2008.

Cooman, B.C., Phase transformations and microstructure - mechanical properties relations in Complex Phase high strength steels, 2002.

ThyssenKrupp, disponível em: <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/upload/binarydata_tksteel05d4cms/00/91/78/02/00/00/2789100/Complex_phase_steels_eng.pdf>. Acesso em 03 de março de 2010.

Pereira, M. S. Caracterização Microestrutural e Mecânica de um Aço Multifásico, em Consonância com o Projeto ULSAB - AVC. 2004. 98f. Tese (Livre Docência em Engenharia Mecânica – Projetos e Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2004.

Corus, disponível em: <http://awbriefing.com/presentations/20073010_jon_king.pdf> Acesso 23 de março de 2010.

6. Informações de contato

Marcelo Sampaio Martins
UNESP – Campus de Guaratinguetá
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333
Bloco 1 (Engenharia de Materiais)
Guaratinguetá, SP
CEP: 12500-000

E-mail: msm_sampaio@yahoo.com.br /
marcelo.sampaio@feg.unesp.br



IDENTIFICAÇÃO DE UMA PLANTA EXPERIMENTAL DE PH UTILIZANDO TÉCNICAS LINEARES E NÃO LINEARES

ISSN 1809-3957

C. H. F da Silva

Resumo – Representar sistemas e fenômenos através de modelos matemáticos é sempre um desafio. A descrição matemática de um processo pode trazer um entendimento sobre o processo, ajudando a resolver problemas construtivos e operativos. A identificação de sistemas não exige nenhum conhecimento prévio sobre o processo para se obter um modelo satisfatório. A identificação usando redes neurais é uma técnica que obtém excelentes resultados. O objetivo deste trabalho é obter um modelo matemático apropriado para ser usado diretamente em aplicações de controle de processos baseado em dados experimentais. Como exemplo ilustrativo foi usada a planta experimental de controle pH, localizada nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção dos dados. Foram identificados modelos lineares e redes neurais e os resultados demonstram que as redes neurais, como modelos não lineares, capturam de forma muito próxima a dinâmica do sistema, levando o controle do processo a melhores resultados.

Palavras-Chave – Identificação de Sistemas, Controle de pH, Sistemas Lineares, Redes Neurais

I. INTRODUÇÃO

A modelagem matemática é a área do conhecimento que estuda maneiras de desenvolver e programar modelos matemáticos de sistemas reais. Existem várias formas de se obter modelos matemáticos. Uma delas é a modelagem fenomenológica ou conceitual. Porém é necessário um profundo conhecimento do processo, além das equações matemáticas que regem os fenômenos envolvidos. Condições estas nem sempre possíveis de se obter na prática [1]. A identificação de sistemas é a área do conhecimento que estuda alternativas técnicas de modelagem matemática. Como característica básica pode-se citar o pouco ou nenhum conhecimento prévio do sistema exigido para obtenção de um modelo satisfatório.

Uma consideração freqüentemente feita é a de se supor que o sistema sendo modelado se comporta de forma aproximadamente linear. Tal suposição é normalmente verificada observando-se o comportamento de um sistema numa faixa relativamente estreita de operação. Os sistemas dinâmicos encontrados na prática são em última análise não-lineares. Em alguns casos aproximações lineares são suficientes para aplicações práticas. Uma vez que for constatado que o modelo linear não seja satisfatório um modelo não-linear deverá ser obtido e utilizado.

Porém a escolha de modelos não lineares traz consigo um inevitável aumento da complexidade dos algoritmos a serem utilizados. Melhorar a exatidão do modelo não é a principal motivação para se utilizar modelos não-lineares. Como razão mais forte para tal, pode-se citar que os modelos dinâmicos não-lineares produzem certos regimes dinâmicos que os modelos lineares não conseguem representar. Dentre as técnicas não-lineares as redes neurais possuem um lugar de destaque por oferecerem bons resultados [2].

O objetivo desse artigo é identificar modelos adequados para fins de controle utilizando-se de redes neurais baseados em dados experimentais de uma planta de neutralização. Na seção 2 é comentada a representação matemática de sistemas. A seção 3 descreve a unidade experimental. A seção 4 descreve os resultados e discussões. A seção 5 apresenta as conclusões e no encerramento do trabalho estão as referências bibliográficas utilizadas.

II. REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS

A representação é a forma com que o modelo matemático é expresso. A Tabela 1 resume os modelos lineares mais comuns, conhecidos como modelos *Black-Box*, expresso por (1), onde y é o vetor de saídas, u é o vetor de entradas e e é o

vetor de ruído de medida e A, B, C, D, F são polinômios de forma apropriada com os parâmetros do modelo.

TABELA 1
ALGUNS MODELOS COMUNS

Polinômio utilizado	Nome da estrutura
AB	ARX
ABC	ARMAX
BF	Output Error
BFCD	Box-Jenkis

$$A_y = \frac{B}{F}u + \frac{C}{D}e$$

(1)

Dentre as representações de sistemas não-lineares algumas mais comuns são citadas a seguir: série de Volterra, modelo Hammerstein, Modelo Wiener, modelos em espaço de estados variantes no tempo, formas não linear dos modelos *Black-Box* (NFIR, NARX, NARMAX, NOE, NBJ, dentre outros), funções de base radial e redes neurais artificiais [1] [2]. Vale a pena comentar ainda outros paradigmas da identificação, como o uso de *Wavelet* [5]; lógica *fuzzy* [8]; algoritmos genéticos [4]. Contudo de maneira geral os procedimentos para identificação de sistemas se mantêm para qualquer estrutura.

Uma rede neural artificial é um processador maciça e paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples (neurônios) interconectados, como ilustra a Figura 1, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Como características atraentes das redes neurais pode-se citar: aprendizagem, adaptação, tolerância à falhas e generalização.



Figura 1: Estrutura básica de uma rede neural.

Como características atraentes das redes neurais pode-se citar: capacidade de aprendizagem, adaptação e generalização, e tolerância à falhas. Estas características se constituem em pontos fortes em aplicações como: reconhecimento de padrões, estimação de funções não-lineares e controle de processos. [2]

O começo do estudo das redes neurais artificiais (RNA) pode ser atribuído à McCulloch e Pitts em 1943. Em 1949 Hebb publicava uma

importante obra que influenciou vários modelos de RNAs de destaque na atualidade. Em 1959, Rosenblatt criou o Perceptron que deu posteriormente origem aos modelos denominados de MLP. Em 1969 os modelos baseados no Perceptron receberam uma dura crítica: Minsky e Papert provaram matematicamente que os modelos de redes neurais baseados no Perceptron não eram capazes de aprender uma simples função lógica do tipo “ou exclusiva”. O impacto da publicação deste trabalho abalou profundamente as pesquisas realizadas nesta área de estudos. Somente na década de 80, surgiram novos modelos que deram um novo impulso as redes neurais. Em 1982 surgia um modelo importante de rede criado por Hopfield. A década de 80 ficou também marcada profundamente pelo reaparecimento das redes baseadas em Perceptrons. Isto se deveu ao desenvolvimento dos computadores, que eram mais velozes e permitiam realizar melhores simulações das redes neurais, bem como o desenvolvimento de modelos matemáticos que permitiram a solução do problema apontado por Minsky e Papert. O modelo que permitiu o ressurgimento das redes baseadas em Perceptrons foi o das redes multi-nível, onde o novo algoritmo de aprendizado chamado *Backpropagation* resolveu em grande parte os problemas de aprendizado existentes até então. Muitas são as contribuições recentes a esta teoria, sendo este um vasto e aberto campo para pesquisas.

A saída de um único neurônio com n entradas é mostrada em (02), onde b é o *bias*, f é a função de ativação e w é o peso sináptico. Assume-se que a operação executada nesse neurônio seja uma soma ponderada dos impulsos provenientes de cada dendrito. Disto vem um modelo básico, chamado de combinador linear adaptativo, que é a base para a construção de sofisticadas arquiteturas.

$$y = f\left(\sum_{j=1}^n w_j u_j + b\right)$$

(02)

A definição da arquitetura de uma rede neural é um parâmetro importante na sua concepção, uma vez que ela restringe o tipo de problemas que pode ser tratado pela rede. Redes neurais com uma camada única de nodos, por exemplo, só conseguem resolver problemas linearmente separáveis. Redes neurais recorrentes, por sua vez, são mais apropriadas para resolver problemas que envolvem processamento

temporal. Fazem parte da definição da arquitetura os seguintes parâmetros: número de camadas da rede, número de nodos em cada camada, tipo de conexão entre os nodos e topologia da rede. Todos os tipos de redes neurais normalmente são treinados com a regra de aprendizado *backpropagation* pela minimização do erro pelo método de gradiente descente. O problema de determinação dos parâmetros da rede é essencialmente uma tarefa de otimização não-linear.

A rede *feedforward* básica executa uma transformação não-linear dos dados de entrada de forma a aproximar os dados de saída. O número de nós de entrada e saída é determinado pela natureza que a modelagem do problema direcione levando a uma representação dos dados de entrada e a forma da rede requerida. O número de nós na camada oculta é relacionado com a complexidade do sistema a ser modelado. A interconexão dentro da rede é de tal forma que todo neurônio de cada camada é conectado em todo neurônio da camada adjacente. Cada interconexão tem associada com seu peso escalar cujo ajuste é feito na fase de treinamento. A camada oculta é tipicamente com função de transferência sigmoideal. Uma rede *feedforward* possui a habilidade de aproximar qualquer função não linear contínua para um grau arbitrário de precisão.

Uma função de base radial é outro tipo de rede neural artificial do tipo *feedforward* constituído de três camadas: uma de entrada, uma oculta e uma de saída. O número de camada oculta não pode ser maior que um e neste caso utiliza uma função de transferência Gaussiana. A principal vantagem desta estrutura de rede neural é que se o número de variáveis de entrada não for muito grande, então o aprendizado é um pouco mais rápido que os outros tipos de rede. Entretanto, o número de unidades ocultas cresce geometricamente com o número de variáveis de entrada, o que torna impraticável o uso desta rede para um grande número de entradas. [1]

Para uma rede neural ser dinâmica é necessário que ela tenha memória. Uma forma de atender a este requisito pode ser pela introdução de atrasos de tempo na estrutura da rede. A rede de Elman é uma rede com 2 camadas em *backpropagation*, com adição de uma conexão de realimentação da saída da camada oculta para as entradas. Este caminho de realimentação permite que a rede de Elman aprenda a reconhecer e gerar padrões temporais, Volume 6 – n. 66 – Junho/2011

tanto como padrões espaciais. A rede de Elman combina os valores passados com a entrada presente para obter a saída corrente da rede. Em sistemas lineares o uso de sinais de entrada passados cria modelos de média móvel (MA) e o uso de sinais de saída passados cria padrões do conhecido modelo autoregressivo (AR).

Algumas desvantagens na aplicação das redes neurais são citadas a seguir:

- O problema da determinação da estrutura dos modelos não-lineares que não é apenas complexo devido a grande variedade de possibilidades, mas também crítico, uma vez que um modelo não linear cuja estrutura não seja adequada apresentará diversos problemas dinâmicos;
- Não é possível traçar a maneira pela qual uma rede chegou a uma determinada solução;
- É impossível interpretar as causas de um comportamento particular, bem como alterar manualmente a estrutura de uma rede de forma a se obter um comportamento desejado.

III. UNIDADE EXPERIMENTAL

O sistema experimental construído é um processo de neutralização que ocorre em um reator tanque agitado. A vazão de base é considerada como a entrada do sistema e o pH é considerado como a saída. O sistema se torna interessante do ponto de vista de identificação e controle por se tratar de um processo fortemente não linear, onde o ganho em estado estacionário experimenta fortes variações dentro da faixa operacional de vazões. A Figura 2 ilustra o comportamento do sistema experimental em estado estacionário (curva de titulação). q_1 é a vazão de ácido, q_2 é a vazão de base e q_3 é a vazão de tampão. Nela observa-se que o pH do processo sofre mudança de 4,81 para 8,29 no intervalo de $[0,98, 1,03]$ de q_2/q_1 . Este comportamento é que torna o problema de neutralização difícil do ponto de vista de identificação e controle, pois pequenas modificações na relação q_2/q_1 podem causar grandes ou pequenas variações no pH dependendo da localização do ponto operacional dentro da região de operação. É possível observar que quanto maior a adição de tampão mais o sistema se aproxima do comportamento linear.

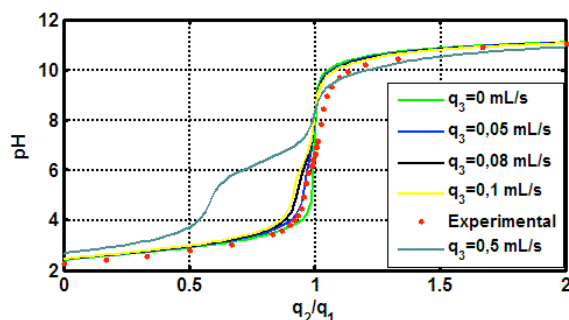


Figura 2: Curva de titulação experimental do sistema de neutralização.

Os equipamentos utilizados na construção da unidade experimental são dois tanques cilíndricos de polietileno de 100 L, dois tanques cilíndricos de polietileno de 200 L, três bombas de deslocamento positivo, dois sensores - transmissores de vazão tipo turbina com detector de infravermelho, reator de acrílico, eletrodo de pH, transmissor de pH, agitador magnético, três fontes de energia (24VDC, 500mA), sistema de aquisição de dados, microcomputador Pentium III 550 MHz. Foram utilizados como reagentes ácido nítrico (HNO_3) e hidróxido de sódio (NaOH), soluções tampão pH 4, 7, 9 e 10 para calibração do sensor de pH. A unidade experimental esquematizada na Figura 3 foi projetada e construída na Oficina mecânica da Faculdade de Engenharia Química da UFU [7]. O sistema consiste de um reator tanque contínuo, alimentado com uma vazão de ácido q_1 (solução de ácido nítrico 0,0036111M) e uma vazão de base q_2 (solução de hidróxido de sódio 0,0036111M). As vazões são medidas por sensores de vazão tipo turbina com sensor de infravermelho. Os sensores de vazão estão conectados aos transmissores que enviam sinais de 4-20 mA para o sistema de aquisição de dados. O pH é medido na saída do reator por um eletrodo. Esse eletrodo está conectado a um transmissor de pH que envia sinais de 4-20 mA para o sistema de aquisição de dados. A mistura dentro do reator é promovida por um agitador magnético.

O processo de neutralização inclui uma variável controlada, o pH, uma variável manipulada (q_2) e uma perturbação medida (q_1). O operador controla a planta através do microcomputador usando uma interface implementada em linguagem LabVIEW®. Na tela do computador o usuário tem informações sobre o pH e as vazões de ácido e base. Estas informações são atualizadas a cada intervalo de amostragem através do sistema de aquisição de

dados. A aquisição e a manipulação de sinais adquiridos é feita pelo software LabVIEW® versão 6.1. As bombas de deslocamento positivo são os elementos finais de controle e possuem um sinal de entrada de 4-20 mA e estão conectadas ao módulo de saída SCXI-1124. Os transmissores de fluxo estão conectados ao módulo de entrada SCXI-1122 e este módulo por sua vez está conectado ao microcomputador. O intervalo de amostragem utilizado foi de 10 segundos.

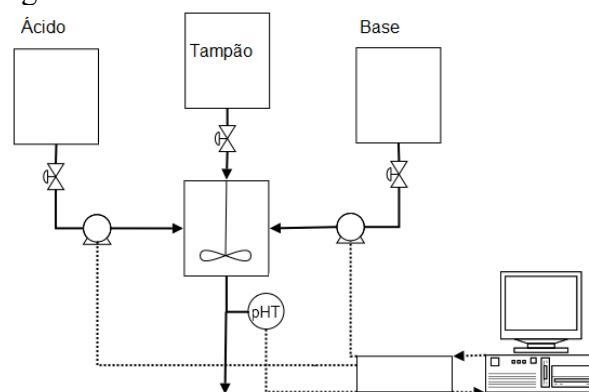


Figura 3: Diagrama da Unidade Experimental.

O modelo dinâmico do processo é baseado nas hipóteses de mistura perfeita, densidade constante, solubilidade completa dos íons envolvidos e consiste do balanço de moles do invariante reacional W_a definido (3)-(6):

$$W_{ai} = [H^+]_i - [OH^-]_i \quad (3)$$

$$V \frac{d(W_a)}{dt} = q_1(W_{a1} - W_a) + q_2(W_{a2} - W_a) \quad (4)$$

$$W_a = [H^+] - \frac{k_w}{[H^+]} \quad (5)$$

$$\text{pH} = -\log[H^+] \quad (6)$$

Onde V é o volume do reator em mL, W_{a1} , W_{a2} e W_a são os invariantes reacionais nas correntes de entrada de ácido, base e saída do reator respectivamente, $[H^+]$ é a concentração de hidrogênio e k_w é a constante de dissociação da água pura. As condições nominais do sistema estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2

DADOS NOMINAIS DOS PARÂMETROS

pH	7
k_w	$1e^{-14}$
Volume do reator	4460 mL

Vazão de ácido (q_1)	12 mL/s
Vazão de base (q_2)	12 mL/s
Conc. ácido (em q_1)	$3,6111e^{-3}$ M
Conc. Base (em q_2)	$3,6111e^{-3}$ M

Devido a impossibilidade de se medir experimentalmente o estado W_a , justifica-se a necessidade de um modelo empírico, uma vez que para a utilização do modelo fenomenológico seria necessário a estimação de estado via filtro de Kalman não linear cujos esforço computacional é comparável à execução de uma rede neural [7].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de saída (pH) são mostrados na Figura 4. As entradas são mostradas na Figura 5, onde u_1 é a vazão de ácido e u_2 é a vazão de base. Os dados foram divididos em dois conjuntos. Um foi utilizado para a estimação dos parâmetros e o outro conjunto foi usado na validação. Lembrando que para a validação o modelo conhece apenas as entradas e estima a saída que será comparada então com os dados experimentais. Os dados foram tratados estatisticamente. Esta mesma partição nos dados foi utilizada na estimação e validação de todos os modelos, exceto da rede RBF que utilizou uma fração de dados 25% menor dentro do intervalo selecionado. Isto porque o tempo de treinamento se mostrou excessivo com a utilização da fração original

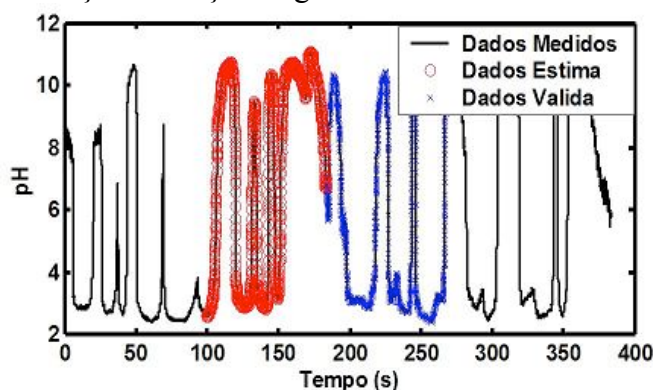


Figura 4— Saídas do sistema: dados experimentais de pH.

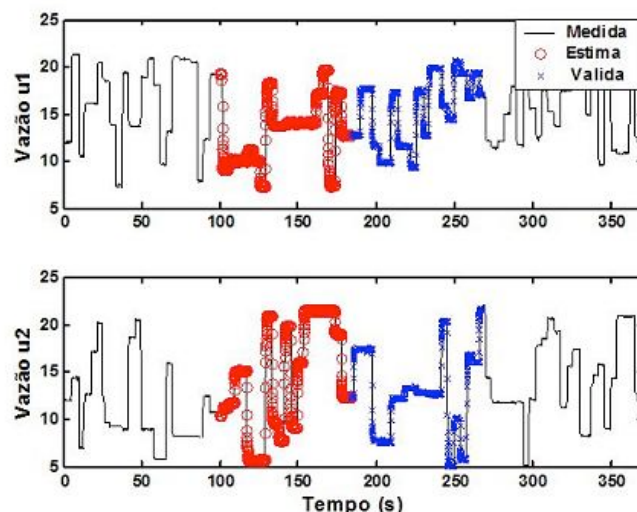


Figura 5— Entradas do sistema.

A Figura 6 mostra o comportamento dinâmico do sistema utilizando alguns modelos lineares mais comuns como ARX, ARMAX, OE, BJ e dois modelos em espaço de estados: SS com 7 estados e PEM com 3 estados, selecionados como de melhor desempenho dentre modelos da ordem de 1-10. Pode-se confirmar que os mesmos não conseguem capturar de forma apropriada a dinâmica do sistema mostrada pela curva de dados experimentais.

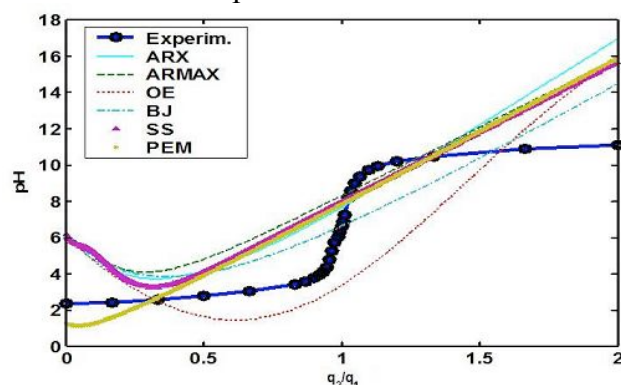


Figura 6 – Resposta dinâmica de modelos lineares.

Foi identificada de uma rede neural linear adaptativa com atraso nas entradas de 1-5 e taxa de aprendizado de 0.01 e uma rede do tipo RBF. Os parâmetros para a rede de Elman foram 5 neurônios na camada oculta. A rede *Feedforward* possui atraso de 0 e 1 adicionados nas entradas de uma rede com um neurônio na camada oculta. Na etapa de validação de modelo que se verifica a qualidade do modelo ajustado. Para exemplificar os procedimentos é apresentado na Figura 7 os resultados da identificação utilizando a rede de Elman.

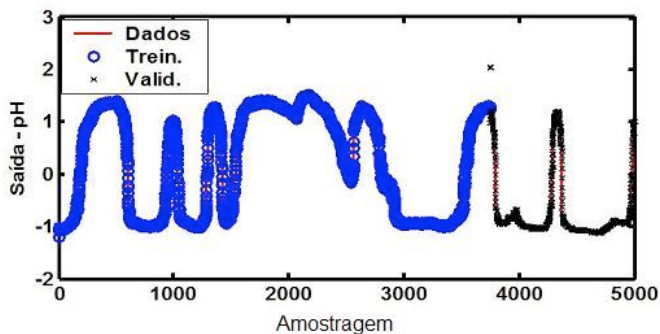


Figura 9 -Rede de Elman.

Para sistemas lineares existe uma teoria bem estabelecida, fundamentada na matemática estatística que não é uma extrapolação direta para modelos não-lineares. Alguns critérios levam em consideração a dicotomia entre o número de parâmetros e precisão do modelo, como por exemplo, os critérios de erro de predição final (FPE) critério de informação de Akaike, critério de informação Bayesiana e outros. Por simplicidade a validação graficamente e considerando a função de média do erro quadrado na estimação (MSE). A Tabela 3 os valores de MSE para as redes, apresentando valores razoáveis. A Figura 11 apresenta o comportamento no estado estacionário versus dados experimentais e demonstra que o sistema identificado em rede neural capta as não linearidades do sistema conforme maior justificativa para identificação utilizando modelos não lineares.

TABELA 3
MSE – TREINAMENTO DAS REDES NEURAI

Rede	MSE
RBF	0,0588
Linear adaptativo	0,0530
Elman	0,0006
FF	0,0008

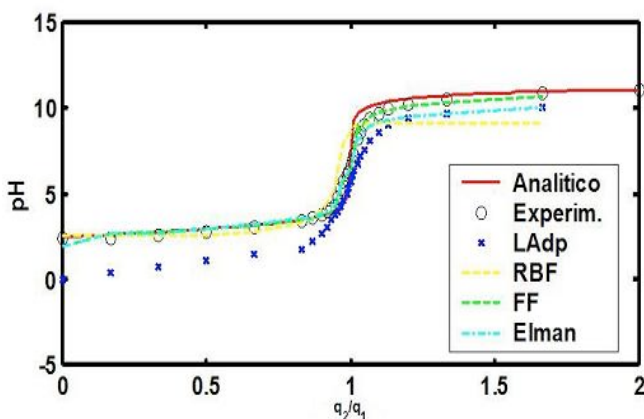


Figura 11 – Resposta dinâmica das redes neurais identificadas.

V. CONCLUSÃO

Foram identificadas com sucesso as redes neurais do tipo: linear adaptativa, RBF, Elman e Feedforward utilizando os dados experimentais de uma planta de pH, além de alguns modelos lineares. As redes neurais captam a dinâmica não-linear do processo, fato não atingido pelos modelos lineares. A complexidade aceita justifica-se no ganho dinâmico e pela possibilidade de execução de um controle do processo mais preciso. Não houve intenção neste trabalho de buscar a melhor rede e sim modelos utilizáveis. Como sugestão para trabalhos futuros pode-se citar: melhoria das redes aqui estudadas e avaliação do comportamento do sistema submetido ao controle utilizando modelos lineares e redes neurais.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] AGUIRRE, L. A. (2000): Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais, Ed. UFMG.
- [2] HAIKIN, S.(1994): Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Company, New York, USA.
- [3] HENRIQUE, H. M. (1999): Uma Contribuição ao Estudo de Redes Neurais Aplicadas ao Controle de Processos, COPPE/UFRJ, Tese de Doutorado.
- [4] LANAS, A. I., PACHECO, M. A (1999) - Identificação de sistemas mediante Algoritmos Genéticos, ICIE 99: V International Congress of Informatics Engineering, Departamento de Computación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Argentina – Argentina.
- [5] LEE, J. ,CHIHHLA, Y. YU, Z. KANTOR,J. C. (1995) Improving Computational Efficiency of Model Predictive Control Algorithm using wavelet transformation, INT. J. Cont. Vol. 61, N° 4, pp 859-883.
- [6] LJUNG, L. (1987): System Identification: Theory for User, Prentice-Hall, Inc., Englewood, Cliffs, New Jersey.
- [7] MONTANDON, A. G., ASSIS, A. J., HENRIQUE, H. M. (2004): Desempenho Experimental em Malha Fechada de um

Sistema de Controle de pH em Reator de Neutralização, XV COBEQ, Curitiba, Brasil.

- [8] SIMÕES, M. G. (2001): Controle e Modelagem Fuzzy, Ed. Edgard Blücher, SP, Brasil.

VII. COPYRIGHT

O autor é o único responsável pelo material incluído neste artigo.

VIII. BIOGRAFIA



Cláudio Homero Ferreira da Silva é natural de Araguari/MG. É Engenheiro Químico (UFU/2000), Mestre (UFU/2002) e Doutor (UFU/2009) em Desenvolvimento de Processos Químicos, Especialista em

Formas Alternativas de Energia (UFLA/2010), com Aperfeiçoamento em Gerenciamento de Projetos (IETEC/2010). Atualmente trabalha na Cemig Geração e Transmissão onde atua como Gerente de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em alternativas energéticas.