

COBRE E SUAS LIGAS

Tecnologia da manufatura,
caracterização e aplicações

Autores:

Luiz Henrique Caveagna
Márcio Rodrigues da Silva
Vinicius Torres dos Santos
Givanildo Alves dos Santos

Blucher

 Termomecanica

COBRE E SUAS LIGAS

CONSELHO EDITORIAL

André Luiz V. da Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon De Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Augusto Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

Blucher



Termomecanica

Luiz Henrique Caveagna
Márcio Rodrigues da Silva
Vinicius Torres dos Santos
Givanildo Alves dos Santos

COBRE E SUAS LIGAS

Tecnologia da manufatura, caracterização e aplicações

Cobre e suas ligas: tecnologia da manufatura, caracterização e aplicações

© 2024 Luiz Henrique Caveagna, Márcio Rodrigues da Silva, Vinicius Torres dos Santos,

Givanildo Alves dos Santos

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenador editorial Rafael Fulanetti

Coordenação de produção Andressa Lira

Produção editorial Kedma Marques

Preparação de texto Gabriela Castro

Diagramação Erick Genaro

Revisão de texto Juliana Leuenroth

Capa Laércio Flenic

Imagem da capa Arquivo pessoal dos autores

Os autores e a editora buscaram tratar de forma ética todas as publicações e citá-las adequadamente, dando o devido crédito a todos os detentores dos direitos autorais, dispondo-se a possíveis acertos, caso, inadvertidamente, a identificação de algum deles tenha sido omitida. Apesar dos esforços de todos, torna-se inevitável a necessidade de ajustes no texto.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4^o andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Cobre e suas ligas: tecnologia da manufatura, caracterização e aplicações / Luiz Henrique Caveagna... [et al]. -- São Paulo: Blucher, 2024.
258 p.

Bibliografia

ISBN 978-85-212-2068-8

1. Cobre 2. Liga de cobre I. Título II. Caveagna, Luiz Henrique

24-0270

CDD 669.3

Índices para catálogo sistemático:

1. Cobre

DEDICATÓRIA

Em memória do nosso fundador, Engenheiro Salvador Arena, cujo legado, princípios e valores são mantidos como fonte de motivação e exemplo.

À Presidente do Conselho Curador da Fundação Salvador Arena e do Conselho de Administração da Termomecanica, Dra. Regina Celi Venâncio, pela excepcional e inspiradora liderança.

Aos Conselheiros da Fundação Salvador Arena, responsáveis por manterem vivo o legado de nosso fundador.

Aos Conselheiros de Administração e aos Diretores Executivos da Termomecanica, pela dedicação e empenho na gestão da companhia que é referência e líder em seu setor.

Aos nossos familiares, fonte inesgotável de amor, apoio e propósito.

Dedicamos esse livro a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta obra e que nos inspiram e motivam diariamente.

PREFÁCIO

O cobre, um dos metais mais antigos conhecidos pela humanidade, é utilizado há mais de 10 mil anos para criar soluções que mudaram o curso da história. Nobre e de cor quente e brilhante, ele fascina pelo seu poder – afinal, sem o cobre, o mundo como conhecemos hoje não existiria.

Sua versatilidade e características ímpares foram decisivas para o desenvolvimento da tecnologia moderna e a construção da sociedade globalizada. Além de ser um excepcional condutor de energia graças à sua maleabilidade, o cobre é utilizado para criar uma infinidade de objetos, artefatos, ferramentas, utensílios domésticos e até joias e peças de arte.

Sua mais importante contribuição, no entanto, está ligada à indústria. Todos os sistemas de produção mundial utilizam o cobre, incluindo os setores de construção civil, de eletricidade e de refrigeração, além das indústrias naval, aeroespacial, de petróleo, de máquinas e de equipamentos. Nos últimos anos, sua presença tem sido ampliada de forma extraordinária, impulsionada principalmente pelas tecnologias emergentes voltadas à geração de energia por fontes renováveis, telecomunicações e mobilidade.

Nesse contexto, é impossível falar da produção do cobre sem falar da *Termomecânica*. Desde que foi fundada, em 1942, pelo engenheiro Salvador Arena, a empresa tornou-se uma referência em seu segmento de atuação e hoje figura entre as maiores indústrias privadas brasileiras, ocupando a liderança no setor de transformação de cobre e suas ligas.

Um pouco do que a empresa aprendeu ao longo dos últimos oitenta anos será compartilhado com você neste livro, produzido com a mesma excelência que traduz o significado da marca Termomecânica no mercado. O ponto de partida é um breve relato de sua história, na qual a inovação e o pioneirismo sempre estiveram presentes, assim como a valorização do capital humano, a preocupação com o meio ambiente e a gestão ética e responsável.

A TRAJETÓRIA DE SUCESSO DA TERMOMECHANICA

Com mais de oito décadas de história, a Termomechanica iniciou sua jornada com apenas 200 dólares de capital e máquinas importadas dos Estados Unidos, tendo como foco a fabricação de fornos e equipamentos para padarias. Graças a seu crescimento acelerado, em pouco tempo a empresa deixou o modesto galpão alugado no bairro da Mooça e passou a ocupar um espaço maior no Ipiranga, ambos na capital paulista.

Sua vocação inegável para a metalurgia se destacou quando a empresa começou a produzir também trefilas, fornos de fundição e prensas, impulsionada pelo desenvolvimento industrial do país, extremamente promissor naquela época. O sucesso foi tanto que, na década de 1950, Salvador Arena decidiu construir uma nova fábrica, voltada para a produção diversificada de metais não ferrosos, no bairro de Rudge Ramos, em São Bernardo do Campo, onde até hoje funciona a matriz da empresa.

Os negócios continuaram em evolução e, em 1957, a Termomechanica já contava com uma equipe de cinquenta funcionários. A linha de produção de chapas e vergalhões se expandiu, especializando-se na fabricação de componentes que anteriormente só estavam disponíveis no mercado internacional.

Para atender à demanda crescente das últimas décadas, a Termomechanica inaugurou, em 1985, sua segunda fábrica, também localizada no município de São Bernardo do Campo. Entre 2008 e 2010, duas novas aquisições evidenciaram mais uma vez o notável desenvolvimento da empresa: o Centro de Distribuição de São Bernardo do Campo e o de Joinville, em Santa Catarina. Em 2011, outro momento histórico: foram adquiridas fábricas no Chile e na Argentina, totalizando 211.447 m² de área construída e aproximadamente 2 mil empregados.

A Termomechanica seguiu em ritmo de expansão e, em 2016, inaugurou uma terceira fábrica em São Bernardo do Campo, desta vez voltada para a produção de tubos e barramentos de alumínio, além de dar início à operação da unidade de Manaus, capital amazônica, dedicada à produção de tubos ranhurados de cobre. Três anos depois, em 2019, iniciou as atividades do Centro de Distribuição dos Estados Unidos, no estado da Carolina do Norte. Em 2021, passou a operar a linha de vergalhão de alumínio em São Bernardo do Campo, fortalecendo ainda mais sua presença nos mercados nacional e internacional.

Por trás do sucesso e desenvolvimento permanente da Termomechanica, o nome de Salvador Arena sempre esteve presente. Referência como profissional, empreendedor e ser humano, ele deixou um legado inigualável, tornando-se uma inspiração de ideias e valores para gerações seguintes.

DE 200 DÓLARES À CONSTRUÇÃO DE UM IMPÉRIO

Com habilidades incomuns, Salvador Arena foi uma das personalidades mais marcantes e controversas de sua época. Natural de Trípoli, na Líbia, nasceu em 12 de janeiro de 1915 e chegou ao Brasil com sua família aos 5 anos. A paixão pela mecânica,

herança do pai Nicola Arena, surgiu ainda na infância humilde e converteu-se em determinação após sua formação em Engenharia Civil, aos 21 anos, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e seu trabalho com o famoso engenheiro estadunidense Asa White Kenney Billings, na São Paulo Trainway Light Power.

Em 1942, com apenas 27 anos, e duzentos dólares que recebeu de indenização após deixar seu emprego na Light, Arena criou a Termomecanica. Empresário de sucesso, fez seus negócios prosperarem por meio de muito trabalho, ousadia, criatividade e determinação, acumulando uma das maiores fortunas do país e figurando com sua empresa no topo do ranking de grandes indústrias instaladas no Brasil até hoje.

Contudo, não foi apenas sua capacidade de gestão que tornou Arena conhecido e respeitado como profissional. Seu lado inovador tornou-se marca registrada, dentro e fora da empresa. Desde pequeno, tinha paixão por inventar e construir, tanto que criou sua própria casa, iates e móveis do escritório e da residência, além de máquinas e pavilhões – tudo projetado e construído sob sua orientação.

Era um mundo fundido, torneado, ajustado e construído à sua maneira, de forma irretocável. Ainda hoje há máquinas em operação nas fábricas da Termomecanica que surgiram há mais de cinquenta anos, fruto de sua mente inquieta e ávida por novos desafios. Uma mente que também se distinguiu dos demais empresários da época em função de outra singularidade: seu jeito particular de gerir pessoas.

UM MODELO DE GESTÃO À FRENTE DO TEMPO

Salvador Arena acreditava no potencial de pessoas bem treinadas – algo que adquiriu em seu trabalho na Light, com a equipe responsável por instalar linhas de transmissão de energia elétrica planejadas por Billings, considerado um dos pioneiros no desenvolvimento desse tipo de sistemas no Brasil. Arena ficou surpreso com a rapidez dos empregados em aprender suas tarefas e, com base nisso, desenvolveu suas próprias habilidades didáticas, percebendo quanto lhe agradava ajudar os outros a progredir.

Nesse sentido, enquanto desenvolvia os negócios da Termomecanica, Salvador Arena criou um modelo de gestão próprio e inovador para a época, prezando pelo “valioso capital humano”, como gostava de se referir aos funcionários. Durante mais de cinco décadas, conduziu a empresa orientado exclusivamente por suas opiniões firmes e ideias singulares. Diversas teorias de gestão, desde processos de tomada de decisão centralizados até trabalho em equipe aberto e participativo, foram relegadas ao *status* de modismos por ele.

Embora conceitos como qualidade total, reengenharia ou *downsizing* tenham produzido seus efeitos, Arena extraiu deles apenas o que era prático para seus objetivos. Seguindo essa mesma lógica, passou a priorizar seus funcionários, investindo sem restrições em seu desenvolvimento. A atenção dedicada a eles era tanta que Arena conhecia todos pelo nome e sobrenome, bem como seus familiares, para os quais estendeu benefícios como cestas básicas com até 60 quilos de alimentos e atendimento médico e odontológico.

A política salarial, uma marca da Termomecanica até os dias atuais, foi sua criação. Tudo começou em 1948, quando concedeu o primeiro prêmio por produtividade após um esforço bem-sucedido de produção para atender um grande cliente. Embora na época não houvesse legislação a respeito da participação nos lucros e da remuneração por produtividade, essa prática tornou-se rotina na fábrica, e, sempre que havia um trabalho especial, um prêmio era concedido.

Mesmo antes de ser criado o 13º salário, Arena pagava um adicional aos funcionários no final do ano. Com o tempo, passou a distribuir a participação nos lucros com base no desempenho anual calculado por ele mesmo. Essa participação chegava a catorze, quinze e, às vezes, dezessete ou dezoito salários no ano. Em determinado momento, a Termomecanica pagou excepcionalmente 25 salários. Também foi dele a ideia de proteger os funcionários das altas taxas de juros do mercado, criando uma cooperativa de crédito com juros subsidiados como alternativa de financiamento pessoal.

MÉTODOS E PRINCÍPIOS

Em seu processo de gestão, Salvador Arena sempre seguiu rigorosamente os métodos e os princípios em que acreditava. Suas fórmulas não eram modernas nem antigas, nem ensinadas nas escolas de negócios. Ele não acreditava em consultores, tampouco ligava para diplomas: o perfil ideal para ele era um funcionário dedicado e disposto a aprender coisas novas rapidamente.

Por isso, eram raros os anúncios em jornais para cargos de gerência. Ao contrário, procurava candidatos internamente, escolhendo a dedo aqueles que se destacaram para chefiar seções e departamentos. Com isso, também dava oportunidades para outros ascenderem na fábrica. Arena também valorizava o trabalho das mulheres, reforçando que elas eram tão inteligentes e eficientes quanto os homens. Estava tão convencido disso que nomeou uma mulher para sucedê-lo na presidência da empresa.

Empresário arrojado, Salvador Arena gerenciava a companhia quase sozinho, definindo estratégias, prevendo novos mercados e desenvolvendo produtos. Lidava com a comunicação de uma maneira peculiar, assim como tudo o que se propunha a fazer: criou folhetos promocionais e catálogos técnicos para potenciais clientes, sendo esta a única forma de publicidade que utilizava. Como costumava dizer: “A melhor propaganda que posso fazer é ter um produto de boa qualidade e com preço baixo”.

Salvador Arena identificou cedo o fenômeno que chamou de “adoração do computador”, uma ênfase excessiva nas máquinas sem um retorno na produtividade, ao qual se opôs vigorosamente. Preferia valorizar o cérebro das pessoas, exigindo criatividade, atenção e, principalmente, lógica. Graças a essa postura, alcançou, em larga escala, o que outras empresas só conseguiam fazer com investimentos maciços em tecnologia de ponta: flexibilidade no atendimento – palavra final entre os gurus executivos em todo o mundo.

Inspirado pela citação clássica de Henry Ford “quando você paga bem seus homens, pode conversar com eles”, era conhecido por sua generosidade para com os funcionários.

Na época, chegou a ser chamado de socialista, louco e amigo dos trabalhadores. No entanto, os resultados e o impacto positivo na vida dos empregados mostraram a generosidade do ser humano e a eficácia de seu modelo de gestão como empreendedor.

Salvador Arena morreu em 1998, na plenitude de seus 83 anos, junto aos que mais amava: seus funcionários, suas máquinas, sua fábrica e sua comunidade. Deixou a Termomecanica ocupando uma posição de destaque no setor industrial brasileiro, em transformação de metais não ferrosos em produtos elaborados e semielaborados e altamente capitalizada, com um patrimônio líquido avaliado em mais de 800 milhões de dólares.

INOVAÇÃO E PIONEIRISMO

O perfil único e inovador de Salvador Arena não se destacava apenas na gestão da Termomecanica e de seus funcionários. Em 1950, aos 35 anos, ele alcançou a aspiração máxima dos metalurgistas do mundo todo ao desenvolver um processo singular de fundição contínua. As primeiras teorias sobre o tema surgiram na metade do século XIX, vindas principalmente de ingleses e estadunidenses que propunham diferentes técnicas de resfriamento e de uso de equipamentos, mas bastante limitadas. Nenhuma delas chegou a ser utilizada em escala industrial.

Salvador Arena, por sua vez, precisou de apenas quatro anos de pesquisa para criar o processo, considerado ainda hoje um avanço tecnológico. Ele permite fundir barras e chapas de modo que os produtos saíssem do forno praticamente na forma e na dimensão finais, eliminando processos intermediários, reduzindo custos e aumentando a produtividade e a qualidade. “Uma legítima glória da indústria nacional”, anunciou entusiasmado em um catálogo promocional da Termomecanica.

Essa conquista representou um marco na indústria nacional, evidenciando o nome da Termomecanica e reforçando a reputação de Arena como um empresário visionário e inovador. Além disso, a introdução da fundição contínua desencadeou uma reação sem precedentes em diversos setores. Amplamente utilizado em etapas intermediárias de fabricação de uma variedade de itens, o processo adicionou excelência aos produtos, proporcionando uma revolução silenciosa e de enorme impacto, embora pouco visível para o consumidor final.

O aumento significativo da qualidade das peças metálicas repercutiu diretamente em segmentos como o de automóveis, refrigeradores, aparelhos de som, máquinas, equipamentos, cadeados, fechaduras, geração e transmissão de energia elétrica e até canhões e foguetes. Os produtos tornaram-se mais leves, resistentes, eficientes e econômicos, em uma época crucial para a indústria nacional, que buscava modernização para atender às demandas de desenvolvimento do país.

Graças às inovações tecnológicas introduzidas por Arena, a Termomecanica conquistou uma parcela crescente do mercado. Sua superioridade tecnológica permitia que a empresa aceitasse pedidos que seus concorrentes não poderiam atender,

incluindo a produção de perfis e barras de bronze sem limitações de comprimento. Assim, a companhia ganhou reputação por ser capaz de executar qualquer serviço sob encomenda, e o mercado cresceu rapidamente à medida que a fábrica se equipava para atender a novas demandas e diversificar a produção.

Contudo, para fornecer atendimento personalizado, a empresa precisava repassar os custos da preparação especial dos fornos e matrizes para o preço final, o que nem sempre era viável para determinados perfis de clientes. Era preciso encontrar uma fórmula mais prática para a Termomecanica atender a um universo maior de indústrias e pequenas empresas, por meio de uma nova liga de metais com aplicação mais ampla a preços mais acessíveis.

Com obstinação, Arena começou a buscar a combinação perfeita de metais para obter uma liga mais versátil e acessível. Como resultado desse esforço, surgiu a liga TM23 – assim chamada porque foram necessárias 23 tentativas para encontrar a fórmula perfeita. Os testes realizados indicaram uma série de vantagens, incluindo maior resistência ao desgaste e ótima adaptabilidade a diferentes usos. A liga TM23 passou a ser produzida em grande escala, com preços reduzidos drasticamente. Até hoje é uma das mais utilizadas pela indústria brasileira.

Movido pelo prazer de superar os limites da tecnologia, Salvador Arena também decidiu construir uma prensa de sete mil toneladas, que demandou dez anos de trabalho e ainda é considerada uma das mais avançadas, sendo a maior de sua categoria na América Latina. Com ela, a Termomecanica conseguiu fabricar chapas mais largas e tubos maiores e passou a produzir itens mais complexos e de maior valor agregado, diversificando os segmentos de atendimento e aumentando as margens de lucro.

Herança da capacidade de inovação de seu fundador, atualmente a Termomecanica continua investindo em novas tecnologias e no desenvolvimento de novas ligas, com foco na otimização de custos, bem como no aumento da produtividade e da competitividade.

PRODUTOS E APLICAÇÕES

A constante demanda do mercado brasileiro, que absorve quase toda a produção da Termomecanica, estimula a empresa a investir continuamente na modernização e na expansão de seus sistemas e produtos. Atualmente, sua linha de produção compreende mais de cinco mil itens de cobre, agrupados em cinco grandes famílias: tubos, barras, vergalhões, perfis, laminados (fitas, tiras e chapas), fios, buchas e casquilhas. Além disso, desde 2016, a empresa também fabrica barramentos de alumínio para fins elétricos.

Entre os produtos de cobre, merecem destaque as barras, os vergalhões e os perfis, que são fabricados desde o início das operações da Termomecanica e continuam a ter papel de destaque na produção da empresa graças às suas diversas aplicações, tanto na indústria nacional, como no mercado internacional. Já no campo de tubos e no da trefilação, a Termomecanica possui o maior e mais completo conjunto de máquinas da América Latina, com capacidade de tração de até 200 toneladas.

Os diferentes produtos de cobre podem ser aplicados nas mais diversas indústrias, e o portfólio da Termomecanica possui excelentes soluções que atendem todos esses setores. Na área de construção civil, por exemplo, nada se compara ao cobre e suas ligas quando pensamos em tubos para água quente e fria, instalações de gás e redes de combate a incêndios, uma vez que o metal é altamente resistente às variações de pressão e de temperatura, evitando, assim, intervenções e retrabalhos nas instalações.

O cobre também se destaca por apresentar melhor desempenho e durabilidade quando comparado a outros insumos, com diferentes destinações. O metal é aplicado em fios e cabos por sua excelente condutibilidade elétrica, além de equipamentos onde há troca de calor, como aquecedores de água que podem operar a partir da energia elétrica ou solar, importantes fontes de energias renováveis. Em países com clima muito frio, o cobre é aplicado nos sistemas de calefação para aquecimento e manutenção da temperatura do ambiente. Nesse sentido, a cadeia do frio também se beneficia quando prioriza o cobre: graças à alta durabilidade do metal, os tubos utilizados em componentes de refrigeração, como aparelhos de ar-condicionado, geladeiras e refrigeradores comerciais, permitem maior eficiência energética e maior vida útil desses produtos.

No setor de arrefecimento, os tubos de cobre são utilizados em trocadores de calor, evaporadores em usinas sucroalcooleiras, radiadores industriais e automotivos e sistemas de pequeno e grande porte que requerem resistência à corrosão galvânica e alto desempenho em trocas térmicas.

Cabos e fios, sejam de alumínio ou de cobre, também atendem todos os setores que dependem de transmissão de energia, da construção civil, até o segmento elétrico, passando pela indústria do petróleo, de máquinas e equipamentos. Ou seja, qualquer setor que necessite transmitir energia elétrica em alguma etapa de seu processo, o que culmina em quase todo sistema de produção.

Já na indústria naval, o cobre é amplamente utilizado para a construção dos mais diversos tipos de embarcações, como navios de cruzeiros e de carga, iates e submarinos, devido à resistência à bioincrustação, e em hélices, tubulações, suportes, válvulas, engrenagens e outros equipamentos, uma vez que conta com elevada resistência mecânica e à corrosão.

No segmento aeroespacial, essa versatilidade de aplicações faz com que as ligas de cobre sejam consideradas opções mais convenientes em alguns componentes críticos da aeronave, quando comparado a outros metais. A escolha pela aplicação nesses casos deve-se pela combinação única de importantes propriedades físicas e químicas: elevada resistência mecânica, à corrosão e ao desgaste; condutividade térmica; e maior tenacidade à fratura em diferentes condições de temperatura.

CULTURA INOVADORA E TRANSFORMADORA

A Termomecanica sempre manteve o olhar estratégico voltado para o futuro, impulsionada por uma forte e consistente cultura inovadora implementada pelos ideais de seu fundador, buscando a excelência de seus produtos e contínua participação no mercado nacional e global. Esta ação tem sido fortalecida continuamente pelo

conselho curador, bem como pela diretoria da Termomecanica. Consequentemente, os avanços seguem em ritmo acelerado.

Um bom exemplo é a estruturação feita no setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), iniciada no ano de 2016 e que, em 2020, se transformou em uma divisão do Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Ensaio (CPDE), composto também pelo Laboratório de Análises Químicas e Físicas – este último inaugurado pelo fundador concomitantemente ao início das atividades da Termomecanica na unidade de São Bernardo do Campo. Hoje, o CPDE é acreditado pelo Inmetro e presta serviços laboratoriais em ligas pertencentes a diversas matrizes metálicas.

Sempre alinhada às principais demandas do mercado, a Termomecanica também vem buscando fortalecer a cultura *Environmental, Social and Governance* (ESG). Em sua trajetória, não faltam exemplos que comprovam a adoção permanente de estratégias ligadas ao meio ambiente, ao social e à governança. Isso inclui o desafio de usar a inovação contínua para tornar a empresa cada vez mais eficiente, atendendo à crescente demanda dos clientes por produtos ecologicamente corretos – ou seja, oferecer soluções de produtos com baixo impacto ecológico, que atendam aos mais altos padrões de eficiência energética, proteção ambiental e economia circular a médio prazo.

RESULTADOS DE NEGÓCIOS ALIADOS AO IMPACTO SOCIAL

O maior sonho de Salvador Arena sempre foi criar uma escola-modelo. Ele acreditava que apenas a educação de qualidade seria capaz de apoiar o desenvolvimento do país. Com isso em mente, em 1964 criou a Fundação Salvador Arena, que funcionava como uma espécie de braço social, concentrando esforços para ajudar pessoas em situação de vulnerabilidade.

Em 1989, a Fundação inaugurou inicialmente o Colégio Termomecanica, com a proposta de proporcionar ensino gratuito e de qualidade para crianças de todas as classes sociais. Em 2002, lançou a Faculdade de Tecnologia Termomecanica (FTT), que oferecia cursos de graduação tecnológica e pós-graduação também gratuitos e de alta qualidade.

As duas instituições de ensino foram transformadas no Centro Educacional da Fundação Salvador Arena em 2006. Ocupando uma área de 131 mil m² no bairro Alvarenga, em São Bernardo do Campo, a instituição oferece ensino de qualidade, alimentação, material didático e uniformes a mais de 3.200 alunos, além de investir em infraestrutura, cultura, conhecimento, esporte e lazer.

Juntamente a todos os bens que Arena acumulou, a Fundação herdou um dos traços mais marcantes de sua vida: o interesse pelo bem-estar genuíno das pessoas. Sem herdeiros, Arena preocupava-se com a continuidade de seus ideais humanitários, por isso estabeleceu a Fundação como herdeira universal de todo o seu patrimônio.

A instituição segue cumprindo o propósito de promover significado à riqueza de seu capital empresarial e, além de financiar o Centro Educacional, também desempenha

uma ampla gama de serviços comunitários, incluindo a distribuição de cestas básicas na região do ABC Paulista, assistência médica gratuita e contribuições para dezenas de instituições de caridade em todo o país, o que beneficia mais de 42 mil pessoas.

Comprometida com o desenvolvimento sustentável, a empresa, além de líder no setor de transformação de cobre e suas ligas, em produtos semielaborados e acabados, mantém programas de modernização e expansão que definem sua tradicional estratégia de reinvestimento de lucros e geração de empregos, contando com um patrimônio líquido superior a dois bilhões de reais.

Até aqui, foi possível conhecer momentos importantes da história da Termomecânica e de seu fundador. Nos capítulos a seguir, trazemos uma rica jornada pelo universo do cobre e da tecnologia envolvida em sua obtenção. Ao longo do conteúdo, você aprenderá sobre a produção desse valioso metal, sua história, curiosidades, características e aplicações técnicas.

Aproveite a leitura e descubra o mundo de possibilidades que o cobre oferece!

Regina Celi Venâncio
Presidente do conselho de
administração da Termomecânica

Luiz Henrique Caveagna
Diretor-geral da Termomecânica

CONTEÚDO

| | |
|--|------------|
| 1. COBRE E SUAS LIGAS | 21 |
| 1.1 Introdução | 21 |
| 1.2 Metalurgia extrativa do cobre | 23 |
| 1.3 Aspectos do cobre | 28 |
| 1.4 Imperfeições ou defeitos cristalinos em metais | 36 |
| 1.5 Propriedades do cobre e suas ligas | 42 |
| 1.6 Ligas de cobre | 51 |
| Referências | 67 |
| 2. CARACTERIZAÇÃO APLICADA AO COBRE E SUAS LIGAS | 69 |
| 2.1 Generalidades | 69 |
| 2.2 Ensaios destrutivos | 70 |
| 2.3 Ensaios não destrutivos | 102 |
| Referências | 105 |
| 3. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS AO COBRE E SUAS LIGAS: PARTE 1 | 107 |
| 3.1 Generalidades | 107 |
| 3.2 Processos de fabricação de cobre e suas ligas | 109 |
| Referências | 131 |

| | |
|--|------------|
| 4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS AO COBRE E SUAS LIGAS: PARTE 2 | 133 |
| 4.1 Usinagem (manufatura subtrativa) | 133 |
| 4.2 Processos de união | 142 |
| 4.3 Manufatura aditiva | 154 |
| Referências | 163 |
| 5. TECNOLOGIA DE TRATAMENTOS APLICADOS AO COBRE E SUAS LIGAS | 167 |
| 5.1 Generalidades | 167 |
| 5.2 Deformação a quente e a frio do cobre e suas ligas | 168 |
| 5.3 Tratamentos térmicos do cobre e suas ligas | 175 |
| 5.4 Processos de tecnologia de superfície | 186 |
| Referências | 190 |
| 6. ASPECTOS METALOGRAFICOS APLICADOS AO COBRE E SUAS LIGAS | 193 |
| 6.1 Generalidades | 193 |
| 6.2 Imagens metalográficas | 206 |
| Referências | 213 |
| 7. A CORROSÃO NA SELEÇÃO DO COBRE E SUAS LIGAS | 217 |
| 7.1 Corrosão | 217 |
| 7.2 Tipos de corrosão | 220 |
| 7.3 Testes de corrosão | 224 |
| 7.4 Controle da corrosão | 226 |
| 7.5 Considerações sobre corrosão no cobre e suas ligas | 227 |
| Referências | 231 |
| 8. A TRIBOLOGIA NA SELEÇÃO DE LIGAS DE COBRE | 233 |
| 8.1 Tribologia | 233 |
| 8.2 Mancais de deslizamento | 234 |
| 8.3 Propriedades tribológicas | 236 |
| 8.4 Mecanismos e regime de desgaste no deslizamento a seco | 237 |
| 8.5 Transformações microestruturais no deslizamento a seco | 240 |

| | |
|---|------------|
| 8.6 Propriedades importantes para mancais de deslizamento | 241 |
| 8.7 Características microestruturais importantes para mancais | 243 |
| 8.8 Ligas de cobre para buchas de mancais de deslizamento | 245 |
| 8.9 Ensaios de desgaste | 252 |
| Referências | 254 |
| SOBRE OS AUTORES | 257 |

