

UNIÃO DE TUBOS HIDRÁULICOS DE ALTA PRESSÃO POR BRASAGEM: ESTUDO DE CASO

ZAZYCKI, Eduardo Augusto^{1*}, SOUZA, Vinicius Pereira², LAMPERT, Vinicius Renan³,
DALCIN, Rafael Luciano⁴

^{1, 2, 3, 4} FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: ez001099@fahor.com.br

RESUMO

A necessidade de adequação do processo de solda brasagem, para o fornecimento de uma nova linha de produtos aplicados em máquinas do ramo automotivo, tornou necessário a revisão das condições de fabricação do processo produtivo, para garantir que o produto fornecido estivesse dentro das condições especificadas no projeto e em normas técnicas. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar o dimensionamento do metal de adição para a soldagem de tubos hidráulicos de alta pressão através do processo de brasagem por indução. Quanto à metodologia adotada, trata-se de uma pesquisa exploratória do processo de solda brasagem aliado ao estudo de caso da análise de penetração de solda. O resultado obtido com a fabricação dos corpos de prova foi satisfatório, pois o preenchimento da junta soldada permaneceu dentro dos 10% de vazios especificado pelo cliente.

Palavras chave: Brasagem por indução. Tubos hidráulicos. Dimensionamento do metal de adição.

UNION OF HIGH-PRESSURE HYDRAULIC TUBES BY BRAZING: CASE STUDY

ABSTRACT

The need of adapting the brazing process to the supply of a new line of products applied in automotive machinery made it necessary to review the manufacturing process conditions to ensure that the product supplied was within the conditions specified in the project and in Standards. In this way, the objective of this work is to present the dimensioning of the addition metal for the welding of high-pressure hydraulic tubes through the brazing process by induction. As for the adopted methodology, it is an exploratory research of the process of brazed weld allied to the case study of the analysis of welding penetration. The result obtained with the fabrication of the test samples was satisfactory since the filling of the welded joint remained within the 10% of voids specified by the customer.

Keywords: Induction brazing. Hydraulic tubes. Sizing of addition metal.

INTRODUÇÃO

A técnica de união por brasagem é, provavelmente a mais antiga forma de unir os materiais, sem considerar os meios mecânicos. Apesar de ser uma técnica de união sabidamente antiga, a brasagem é até hoje amplamente utilizada em inúmeras aplicações devido a capacidade de unir materiais de natureza muito distinta e com pequenas seções

transversais, utilizados em autopeças, refrigeradores, trocadores de calor, componentes aeronáuticos e aeroespaciais, componentes eletrônicos, etc. Além disso, permite a união de materiais diferentes, tais como metais e cerâmicas, de difícil execução por outra técnica de soldagem por fusão (FERNANDES, 2001; OKIMOTO, 2013).

A brasagem é amplamente utilizada na indústria metal mecânica, e consiste na utilização de um metal de adição com ponto de fusão inferior ao ponto de fusão do metal base (PAULA, 2002). Durante o processo de brasagem apenas o metal de adição funde-se e reage quimicamente com as superfícies dos metais base formando uma união. Esta união, para que seja perfeita, é necessário que o líquido formado molhe as superfícies do metal base e seja conduzido por capilaridade para os vazios existentes (FERNANDES, 2011).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar o dimensionamento do metal de adição para a soldagem de tubos hidráulicos de alta pressão através do processo de brasagem por indução. A metodologia utilizada neste trabalho é um estudo de caso, que segundo Yin (2001), representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Fundamentos do método de brasagem por indução

Nas últimas décadas a aplicação do processo de brasagem nas indústrias brasileiras aumentou significativamente, devido seus inúmeros benefícios em relação aos processos de soldagem por fusão (FERNANDES, 2001). Belmont (2011) define a brasagem como um método de união de metais através do aquecimento abaixo da temperatura de fusão dos mesmos, adicionando-se um metal de adição no estado líquido, a qual penetra na folga entre as superfícies a serem unidas. Ao se resfriar, a junta formada torna-se rígida e resistente. Este método de união utiliza metais de adição com temperatura de fusão abaixo do ponto de fusão do metal base, mas acima de 450°C.

Na brasagem, geralmente é empregado um fluxo, ou atmosfera controlada para realizar a união, sendo que, devido as suas características esse processo provoca muito pouca distorção na estrutura, ou seja, mínima alteração metalúrgica no metal base, o que permite a produção de juntas com alta qualidade (MACHADO, 1996). O processo de solda brasagem, identifica-se como um processo de junção e revestimento de materiais metálicos, auxiliado por um metal de adição fundido, a partir do emprego de um meio fluxante ou um gás de

proteção para a soldagem. Os materiais de adição, puros ou ligas, encontram-se nas formas comerciais de arames, chapas, barras ou peças conformadas (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

A brasagem por indução é um processo que utiliza o campo magnético gerado por um indutor ou bobina para a união de metais base e adição. Para Marques; Modenesi; Bracarense (2009) o aquecimento da peça é obtido pela dissipação de calor provocada por correntes elétricas induzidas por uma bobina conectada a uma fonte de energia elétrica de corrente alternada. O aquecimento é restrito a uma pequena área, e se propaga às áreas restantes da peça por condução ou pelo deslocamento da peça em relação à bobina, o metal de adição é normalmente colocado com antecedência na junta e a proteção é feita por fluxo.

Fernandes (2014) destaca que a solda brasagem por indução caracteriza-se pelo aquecimento rápido e localizado. Este método de aquecimento, rápido e versátil, consta essencialmente de um transformador cujo enrolamento secundário está ligado em curto circuito a uma bobina de cobre tubular, resfriada com água que envolve as peças sem qualquer contato direto, produzindo aquecimento localizado por meio de fluxo magnético, de média ou alta frequência que emana da bobina.

2.1.2 Propriedades mecânicas das juntas soldadas por brasagem

Juntas produzidas por brasagem formam um sistema heterogêneo e anisotrópico, consistindo do metal base, zona de difusão, e eventualmente compostos intermetálicos e metal de adição. Porém, uma preocupante característica destas juntas, é a grande capacidade que elas têm de suportar cargas muitas vezes superiores a resistência a tração do metal de adição do estado como fornecido. A razão para este fato, é que usualmente é muito grande as diferenças das propriedades elásticas e plásticas entre os metais base e de adição. Assim, com carga suficiente, o dúctil metal de adição tende a se deformar, mas o metal base o impede, pois ainda encontra-se no estado elástico (MACHADO, 1996).

Nascimento (1997) comenta que as propriedades mecânicas das juntas dependem diretamente de diversos fatores, dentre eles: natureza da liga de adição, parâmetros de processamento, ou seja, tempo, temperatura, taxas de aquecimento e resfriamento, tipo de junta, geometria das amostras e forma de carregamento.

2.1.3 Defeitos comuns em juntas brasadas

Na união de materiais com natureza distinta são encontradas dificuldades, principalmente devido a diferentes tipos de ligações químicas, estruturais cristalinas e propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade, coeficiente de expansão térmica e tenacidade (NASCIMENTO, 1997).

São diversos os defeitos que podem ocorrer em juntas brasadas, dentre eles: falta de enchimento da junta pelo metal de brasagem, aprisionamento de fluxo, erosão do metal base, porosidades, falta de penetração fazendo com que o metal de adição não preencha toda junta, perfil incorreto, trincas que podem aparecer tanto a quente quanto a frio na junta, no material base ou na zona de ligação, podendo tornar-se até fraturas ou fenas maiores, e ainda a falta de ligação entre o metal de adição e o material base (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

2.1.4 Vantagens e limitações da brasagem

As principais vantagens da brasagem por indução são: geração de calor sem contato físico, habilidade de fornecer energia uniforme e localizada, baixa distorção, alta produtividade, limpeza e qualidade das juntas, automatização do processo e mínima oxidação (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982). Pode-se citar ainda, a possibilidade de: unir dois metais com ponto de fusão diferentes, união de centenas ou até milhares de pontos, unir pontos inacessíveis por qualquer outra técnica de união, capacidade de unir metais dissimilares, grande precisão dimensional das peças produzidas, peças produzidas requerem pouco ou nenhum acabamento final, menores problemas de tensões residuais que em processos de soldagem por fusão, pois o metal de adição apresenta baixa tensão residual e sua ductilidade permite posterior usinagem (FERNADEZ, 2011).

Apesar das vantagens mencionadas anteriormente, o processo varia de acordo com o método de aquecimento empregado, mas em geral, a brasagem é muito econômica quando utilizada em série. Várias peças podem ser brasadas ao mesmo tempo e, quando se utiliza atmosfera controladora, pode-se acrescentar um ciclo de tratamento térmico ao processo, eliminando uma etapa da produção (BELMONT, 2011).

Como em todos os processos de fabricação, a brasagem tem algumas limitações, dentre elas: alto custo do equipamento, necessidade de um profissional altamente qualificado, dificuldade de aquecimento em montagens complexas e, para cada aplicação há necessidade de se construir uma bobina específica (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982). As limitações da brasagem estão ligadas a resistência da união limitada à resistência do metal de adição,

temperatura de serviço limitada ao ponto de fusão do metal de adição, possibilidade de ocorrência de corrosão galvânica na junta, todo o conjunto a ser brasado deve ser aquecido, preparação da junta para brasagem pode ser complicada, exigindo uma grande precisão dimensional para um espalhamento adequado do metal de adição. Quanto a brasagem manual com tocha, exige em geral, um operador altamente treinado (FERNANDES, 2011).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Metal base

Perfis tubulares redondos trefilados sem costura, conforme norma DIN EN 10305-1 (antiga DIN 2391-2:1994-09), com dimensões 31,75 mm × 3,05 mm de espessura de parede foram utilizados como metal base. A Tabela 1 apresenta a composição química e a Tabela 2 as propriedades mecânicas do metal base utilizado.

Tabela 1: Composição química do metal base.

Composição química (%) em massa DIN EN 10305-1:2010-05 (antiga DIN 2391-2:1994-09)							
Grau (Grade)	Nº do aço	C	Si	Mn	P	S	Al
St 52	1.0580	≤ 0,22	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	-

Fonte: Vallourec (2017).

Tabela 2: Propriedades mecânicas do metal base.

Propriedades mecânicas (valores mínimos): DIN EN 10305-1:2010-05				
Grau	Nº do aço	NBK		
		RT [Mpa]	LE [Mpa]	AL [%]
		TS [Mpa]	YS [Mpa]	EL [%]
St 52	1. 0580	490-630	355	22

Fonte: Vallourec (2017).

2.2.2 Procedimentos montagem e soldagem das amostras

Os tubos redondos foram soldados pelo processo de solda brasagem por indução. As soldas foram realizadas com o metal de adição em formato de anel com diâmetro 12 mm x 1,0 mm, de acordo com a classe AWS A5.8M Bag28 na especificação da norma 1E0197C. A Tabela 3 apresenta a composição química dos metais de adição utilizados, segundo indicação do fabricante.

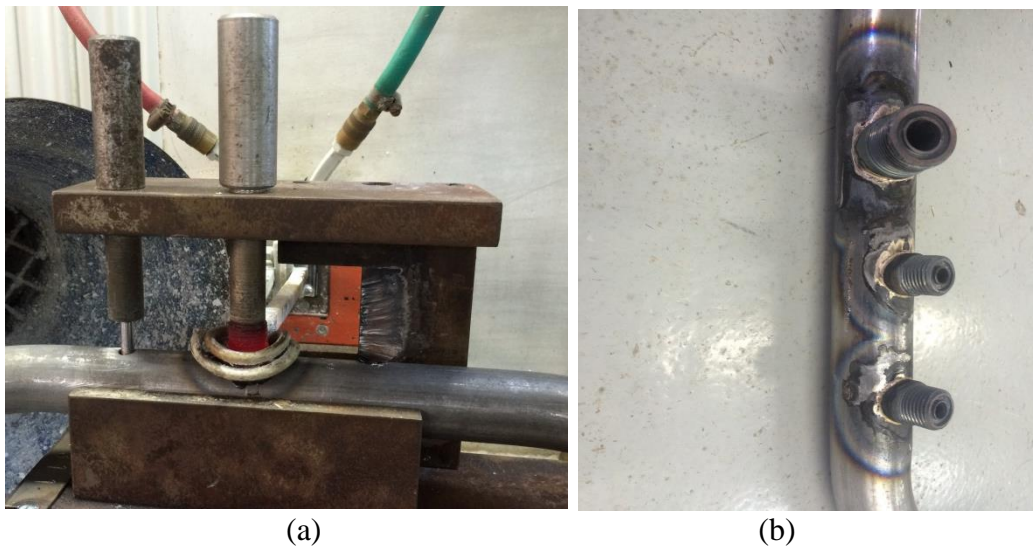
Tabela 3: Composição química do metal de adição.

Especificação	AWS classe	Elemento químico (% em massa)						Outros elementos de liga (MAX)
		Ag	Cu	Zn	Cd (Less Than)	Ni	Sn	
1E0197C	AWS BAg-28	39-41	29-31	26-30	0,01	--	1,5-2,5	0,15

Fonte: Caterpillar (2016).

Realizou-se testes com duas amostras de tubos Ø 31,75 x 3,05 SC- ST52-DIN 2391-NBK. O anel dimensionado foi fabricado pela empresa Harris Brastak, contendo um liga de prata de 40 % (DIN 8513-3/86 L-Ag40Cd). A peça é montada em um dispositivo específico para a soldagem da amostra testada, o componente soldado trata-se de dois conectores macho rosca 11/16"-16 ORFS THD sobre um furo não passante de diâmetro 10,5mm e um conector macho rosca 1"-14 ORFS THD, sobre um furo não passante de diâmetro 14,75mm. A Figura 1(a) demonstra os conectores com o processo aquecimento em andamento, e a Figura 1(b) com o processo de solda brasagem por indução concluída.

Figura 1: Peças montadas para a brasagem por indução: (a) Conector 11/16"-16 ORFS THD em processo de aquecimento; (b) Conjunto soldado.



Fonte: Autores (2017).

2.2.3 Caracterização das amostras

A primeira etapa foi analisar a penetração do material de adição atual, com objetivo de verificar se os vazios entre as juntas estavam dentro das especificações na norma 1E0197. A norma do cliente especifica que, a soma dos vazios não deve exceder 10% da área da junta e,

que um único vazio não deve exceder 5%, onde o metal de adição deve ser visível nos 360° da circunferência em ambos os lados.

A avaliação da área de soldagem foi realizada através do corte seccionado em quatro partes abrangendo o tubo e componente soldado para a realização de ensaios metalográficos. As microfotografias das juntas foram registradas em microscópio aumentado em 10 vezes.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinar a porcentagem de vazios entre a junta de solda, foi necessário calcular o volume do componente a ser soldado e descontar a área que não ocorreu o preenchimento. Para o cálculo da área de único vazio verificou-se a pior condição de solda entre as quatro partes cortadas e o somatório foi analisado através da soma de todos os vazios dos quatro cortes. O resultado encontrado foi de 6,89% e 10,58%, estando reprovado nas duas condições de solda.

Através da análise de vazios, verificou-se que o metal de adição atual era insuficiente, para o preenchimento da junta soldada, pois a porcentagem de vazios ficou maior que os 10% permitido em norma técnica. Com isso, se fez necessário realizar o dimensionamento do metal de adição, conforme Tabela 4 disponibilizada pelo fabricante do metal de adição.

Tabela 4: Dimensionamento do metal de adição.

Análise dimensional conjunta para anéis			
draw	4331417	diâmetro externo tubo (mm)	31,75
pn	10,45		
furo min	10,55		
furo max	10,55	diâmetro interno tubo (mm)	31,95
tubo min	10		
tubo máx	10		
length máx	14	diâmetro interno recomendado	31,9
clearance min	0,23		
clearance máx	0,28	comprimento da junta (mm)	3,5
metal volume min. (cm ³)	0,10114		
metal weight min (g)	0,92	massa da junta (g)	0,286
metal volume max (cm ³)	0,12421		
metal weight max (g)	1,13	especificação do anel	bt-238 anel 12x1,2mm
		peso do anel (g)	1,13
		norma cliente	1,00E+197

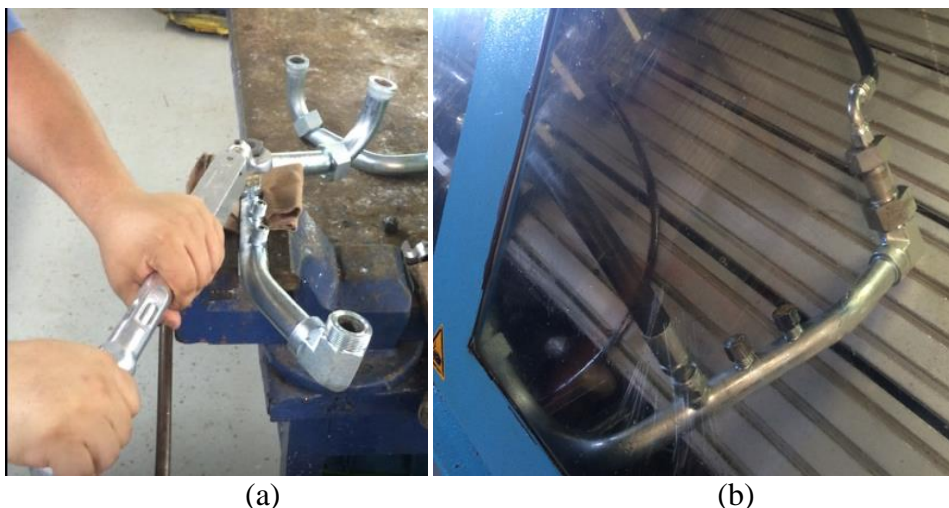
Fonte: Harris Brastak (2017).

A quantidade de metal de adição e dimensão foi, matematicamente, determinada através da geometria da abertura da junta, acrescentando-se 15% deste volume para a formação do filete de acabamento. Após o cálculo realizado, verificou-se que a folga no diâmetro adequado, para ocorrer capilaridade fica situada entre 0,10 a 0,40 mm, porém a melhor folga fica em torno de 0,20mm, onde o preenchimento será mais rápido, e terá menor tendência a falhas e menor consumo de solda.

Com o dimensionamento realizado, verificou-se que o metal de adição em formato de anel, passaria a ter uma espessura maior do que a usada em itens normais de linha. Tendo um acréscimo de 0,2 mm na espessura, conforme especificado na tabela de cálculo do fabricante passando de 12 mm x 1,0 mm para 12 mm x 1,2 mm. Com o metal de adição adquirido na nova configuração, realizou o estudo de caso em uma máquina de solda brasagem por indução da modelo JMMF com 25 KW de potência da marca JAMO. O anel dimensionado foi fabricado pela empresa Harris Brastak, e contém uma liga com 40 % de prata (DIN 8513-3/86 L-Ag40Cd).

A fim de verificar a eficácia do processo de solda brasagem por indução, realizou-se o teste de torque com 100 N.m e teste de pressão utilizando óleo como fluido com 100 bar de conforme especificado pelo projeto e demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Testes da eficácia do processo de solda: (a) Teste de resistência da solda; (b) Teste de ruptura da solda.

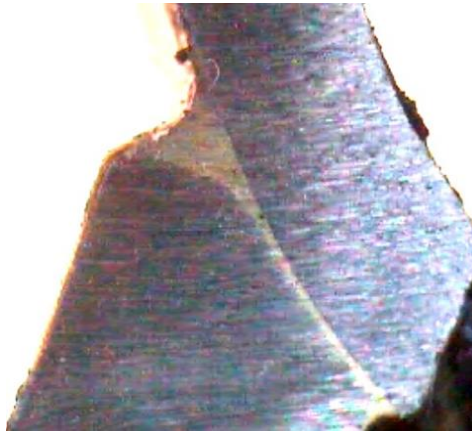


Fonte: Autores (2017).

Após a realização do teste de resistência de solda, realizaram-se os cortes para a execução dos ensaios metalográficos e macrofotografias. A Figura 3 mostra o resultado obtido

de um dos quatro cortes, onde percebe-se se o preenchimento ocorreu quase por completo.

Figura 3: Resultado do processo de solda com o anel redimensionado.



Fonte: Autores (2017).

O cálculo da porcentagem de vazios, entre a junta de solda, mostrado na Tabela 5, comprova que a pior condição de um único vazio ficou com 4,41% de falta de preenchimento de solda, ficando dentro da especificação da norma que especifica que não deve exceder 5%. E, o somatório das juntas soldadas ficou dentro da especificação da norma técnica de solda, que especifica que a soma dos vazios não deve exceder 10% da área da junta, ficando com o valor total de falta de solda brasagem 4,90%.

Tabela 5: Cálculo do preenchimento de solda.

Análise do preenchimento de solda		
	L (un)	5,95mm
	L (Σ)	23,80mm
	Falha (un)	1,048mm
	% (un)	4,41%
	RESULTADO (un)	APROVADO
	Falha (Σ)	1,165mm
	% (Σ)	4,90%
	RESULTADO (Σ)	APROVADO
FACE	FALHA	
01	1,048mm	4,41%
02	0,117mm	0,49%
03	0,000mm	0,00%
04	0,000mm	0,00%

Fonte: Autores (2017)

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos neste trabalho, remetem as seguintes conclusões:

O processo de solda brasagem por indução, para a soldagem de conexões em perfis tubulares redondos, é mais viável se comparado aos demais processos de brasagem, pois se obtém maior penetração entre as duas superfícies.

Para a obtenção de uma junta adequada, devem ser verificados alguns requisitos técnicos, como o tipo de temperatura de trabalho; a compatibilidade entre material base e metal de adição, a forma e tempo de aquecimento.

O dimensionamento do metal de adição, é um fator de grande importância para o total preenchimento da junta soldada, evitando falhas ou falta de penetração. Após a soldagem com o metal de adição 12 mm x 1,2 mm, os resultados encontrados através da análise metalográfica foram satisfatórios, pois atendeu a especificação da norma técnica do cliente e a resistência de solda na aplicação do teste de pressão.

REFERÊNCIAS

- BELMONT, W. **Processos de Soldagem – Brasagem**. Curitiba, 2011.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- FERNANDES, A. A. **Módulo Brasagem Fundamento, Características, Aplicações e Segurança do Processo de União Intermetálica por Brasagem**. 4 ed. São Paulo, 2011.
- INFOSOLDA. **Brasagem Processos**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/199-brasagem-processos.html>>. Acesso em: 22 mar 2017.
- MACHADO, I. G. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. 1 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1996.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- NASCIMENTO, R. M. **Unões Al_2O_3/Al_2O_3 e Fe-Ni-Co/ Al_2O_3 produzidas por brasagem com metal ativo**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.
- OKIMOTO, M. L. L. R. **3ª aula: Brasagem**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM254/Aula3.pdf>>. Acesso em 05 abr 2017.
- OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. São Paulo: LTC, 1982.
- PAULA, T. J. de; BORGES, C. P. **Brasagem: Influência do tamanho de grão no processo de brasagem**. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa, 2002.
- SCHENATTO, F. J. A.; POLACINSKI, E.; ABREU, A. F.; ABREU, P. F. **Análise crítica dos estudos do futuro: uma abordagem a partir do resgate histórico e conceitual do tema**. Gest. Prod., São Carlos, v. 18, n. 4, 2011.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 21. ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.