

Avaliação operacional da tubulação de interligação de uma caldeira a vapor

Por trabalharem com inúmeros fluidos com características corrosivas, tóxicas e inflamáveis, as tubulações de interligação das caldeiras e vasos de pressão passaram a ser controladas pela Norma Regulamentadora No.13 (NR-13). Desta forma, tubulações ou sistemas de tubulação de interligação das caldeiras e vasos de pressão, categorizados conforme NR-13 para fluidos de classe A ou B, passaram a ter exigências de inspeção da NR-13 para atendimento do sistema. Contudo, apesar do foco da avaliação do estudo ser no sistema de tubulação de vapor de água, fluido de classe C, a norma NR-13 menciona que as tubulações de vapor de água devem ser mantidas em boas condições operacionais, de acordo com um plano de manutenção. Nessa tônica, este trabalho apresenta um estudo teórico com aplicação de um estudo de caso sobre as condições operacionais do sistema tubulação de vapor de interligação de uma pequena caldeira a vapor flamotubular vertical, por meio de uma inspeção visual direta. Os resultados demonstraram ausência de identificação do sistema de tubulação conforme NR-26, ausência de um plano de manutenção que contemple programa e um plano de inspeção, além de evidências de desgaste no sistema de tubulação. Por fim, foi possível enfatizar a importância da inclusão de tubulações ao escopo da norma, uma vez que são as responsáveis por conduzir os fluidos dos processos, o que emerge para necessidade de cumprimento da NR-13.

Palavras-chave: Tubulação; Fluidos; Caldeiras; Norma Regulamentadora No.13.

Operational evaluation of the interconnecting piping of a steam boiler

Because they work with numerous fluids with corrosive, toxic and flammable characteristics, the interconnection pipes of boilers and pressure vessels have been controlled by regulatory standard No. 13 (NR-13). In this way, pipelines or piping systems interconnecting boilers and pressure vessels, categorized according to NR-13 for Class A or B fluids, now have NR-13 inspection requirements to meet the system. However, although the focus of the study evaluation is on the water vapor piping system, Class C fluid, the NR-13 standard mentions that water vapor pipes must be maintained in good operating condition, according to a maintenance plan. In this vein, this work presents a theoretical study with the application of a case study on the operating conditions of the interconnecting steam piping system of a small vertical flamed-tube steam boiler, through a direct visual inspection. The results showed absence of identification of the piping system according to NR-26, absence of a maintenance plan that includes a program and an inspection plan, as well as evidence of wear in the piping system. Finally, it was possible to emphasize the importance of including pipes in the scope of the standard, since they are responsible for conducting the fluids of the processes, which emerges as a need for compliance with NR-13.

Keywords: Pipe; Fluid; Boiler; Regulatory standard no.13.

Topic: **Engenharia Organizacional e do Trabalho**

Received: **01/12/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **25/05/2023**

Alessandro Aguilera Silva 
Universidade Federal de Rondônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3043693002346649>
<https://orcid.org/0000-0002-8934-3215>
alessandroaguilera245@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0007

Referencing this:

SILVA, A. A... Avaliação operacional da tubulação de interligação de uma caldeira a vapor. **Engineering Sciences**, v.11, n.1, p.52-60, 2023.
DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0007>

INTRODUÇÃO

Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia e projetados seguindo códigos pertinentes (BRASIL, 2022). As Caldeiras podem gerar vapor na forma saturada ou superaquecida, sendo o vapor saturado o mais utilizado em indústrias, como por exemplo as indústrias frigoríficas, alimentícias, madeireiras, farmacêuticas, e químicas, enquanto o vapor superaquecido é utilizado na geração de energia mecânica em Usinas Termoelétricas e de Biomassas (SANTOS, 2016).

O vapor saturado gerado pelas caldeiras é utilizado em processos industriais para o aquecimento, a partir da troca de calor, destinado à movimentação, adotado como força motriz para equipamentos que funcionam à base de turbinas de vapor e destinado aos processos de limpeza e esterilização, devido à alta temperatura atingida pelo vapor (MELO, et al.,2021).

Nessa tónica, dentro de um sistema industrial, a caldeira é o principal equipamento responsável por permitir a combustão do combustível com conseqüente produção de vapor, realizando a queima de diferentes combustíveis (sólidos, líquidos e gasosos) que liberam energia (calor) para promover o aquecimento da água e conseqüente liberação de vapor sob alta pressão (SANTOS, 2016).

Neste contexto, sistemas de tubulação ligados a caldeiras se apresentam como elementos essenciais para o funcionamento do sistema da caldeira, vez que são responsáveis por conduzir os fluidos para alimentar os processos industriais. Por este motivo, similar a caldeira, as tubulações também devem ser submetidas a criteriosa inspeção periódica de segurança, tanto que o conjunto de tubulações interligadas a caldeiras e vasos de pressão, para fluidos de classes “A” e “B”, categorizados conforme Norma Regulamentadora No.13 (NR-13), sofreu significativa revisão em 2014, que passou a se chamar “Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações”, restando incorporado na norma o tema de tubulações e que posteriormente na revisão de 2018, também incluiu na NR-13 os tanques metálicos de armazenamento, conferindo-lhe o novo título “Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento”, título que mantém até hoje (BRASIL, 2022).

Contudo, além das tubulações que contenham fluidos de classes “A” e “B” categorizados conforme NR-13, a norma menciona que as tubulações de vapor de água, fluido de classe C, devem ser mantidas em boas condições operacionais, de acordo com um plano de manutenção (BRASIL, 2022).

Nesse sentido, as empresas que possuem tubulações enquadradas na NR-13 ou a necessidade de atendimento de item específico da norma, como é o caso da empresa objeto de estudo, para tubulação que contém fluido de classe C, devem adotar os procedimentos da norma, que fornece orientações fundamentais e específicas.

Considerando a importância do assunto, o objetivo do estudo é de avaliar as condições de segurança operacional do sistema de tubulação de vapor de interligação de uma pequena caldeira flamotubular vertical, a partir de uma inspeção visual direta. Um método teórico e qualitativo, com delineamento de estudo de caso é utilizado para avaliação das condições de segurança operacional do sistema de tubulação e como

comparativo para atendimento das exigências da NR-13.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Requisitos da NR-13 para as Tubulações

São extraídas conforme NR-13 as exigências mínimas que devem ser cumpridas nas empresas que possuem tubulações que contenham fluidos de classe A ou B. Ressalta-se que apesar do foco do estudo ser em tubulação de fluido classe C, vapor de água, o que não se aplica aos requisitos da NR-13, conforme seu item 13.2.1, o direcionamento da avaliação ainda será a luz das exigências da NR-13 para tubulações, uma vez que em seu item 13.6.2.6 a norma menciona que as tubulações de vapor de água devem ser mantidas em boas condições operacionais, de acordo com um plano de manutenção (BRASIL, 2022).

Desta forma, como subsídio para o plano de manutenção, o estudo segue as diretrizes das tubulações enquadradas na NR-13, que é a necessidade de um programa e um plano de inspeção. No Quadro 1 é demonstrado um resumo das exigências, conforme NR-13.

Quadro 1: Resumo das exigências.

Documentação	Para as tubulações, sistemas de tubulação ou linhas deve haver a seguintes documentações atualizada: a) Desenhos esquemáticos e isométricos; b) Fluxograma de engenharia com a identificação da linha e seus acessórios; c) Projeto de alteração e reparo; d) Relatórios de inspeção; e) Registro de segurança.
Segurança	As tubulações ou sistemas de tubulação devem possuir dispositivos de segurança conforme critérios do código de projeto utilizado, além de possuir indicador de pressão de operação conforme definido no projeto de processo e instrumentação.
Identificação	As tubulações e sistemas de tubulação devem ser identificados conforme padronização formalmente instituída pelo estabelecimento, e sinalizadas conforme NR-26.
Inspeções de segurança	As tubulações e sistemas de tubulações enquadradas na NR-13 devem possuir um programa e um plano de inspeção que considere, no mínimo, as seguintes variáveis, condições e premissas: a) os fluidos transportados; b) a pressão de trabalho; c) a temperatura de trabalho; d) os mecanismos de danos previsíveis; e) as consequências para os trabalhadores, instalações e meio ambiente devido às possíveis falhas das tubulações. As Inspeções de Segurança a serem realizadas são: a) Inspeção de segurança inicial; b) Inspeção de segurança periódica; c) Inspeção de segurança extraordinária.
Inspeção de segurança inicial	Deve ser realizada inspeção de segurança inicial nas tubulações.
Inspeção de segurança periódica	As tubulações devem ser submetidas à inspeção de segurança periódica. Os intervalos de inspeção das tubulações devem atender aos prazos máximos da inspeção interna do vaso ou caldeira mais crítica a elas interligadas, podendo ser ampliados pelo programa de inspeção elaborado por PH, fundamentado tecnicamente com base em mecanismo de danos e na criticidade do sistema, contendo os intervalos entre estas inspeções e os exames que as compõem, desde que essa ampliação não ultrapasse o intervalo máximo de 100% (cem por cento) sobre o prazo da inspeção interna, limitada a 10 (dez) anos. As inspeções periódicas das tubulações devem ser constituídas de exames e análises definidas por PH, que permitam uma avaliação da sua integridade estrutural de acordo com normas e códigos aplicáveis. No caso de risco à saúde e à integridade física dos trabalhadores envolvidos na execução da inspeção, a linha deve ser retirada de operação.
Inspeção de segurança extraordinária	Deve ser realizada inspeção extraordinária nas seguintes situações: a) sempre que a tubulação for danificada por acidente; b) quando a tubulação for submetida a reparo provisório ou alterações significativas, capazes de alterar sua capacidade de conteúdo de fluido; c) antes da tubulação ser recolocada em funcionamento, quando ela permanecer inativa por mais de 24 meses (vinte e quatro).

Como demonstrado no Quadro 1, a partir do texto resumo extraído da própria NR-13, a uma série de exigências que devem ser cumpridas pelas empresas que possuem tubulações e sistemas de tubulações

enquadradas na NR-13.

METODOLOGIA

A pesquisa foi estruturada por meio de uma revisão bibliográfica e documental com coleta de dados no período de julho de 2022. Adicionalmente, também utilizou de um estudo de caso a partir de um método de ensaio não destrutivo, baseado na inspeção visual direta, sem utilização de equipamentos auxiliares, resultando apenas da observação direta no sistema de tubulação de vapor de interligação de uma caldeira flamo tubular vertical instalada e em operação em um abatedouro frigorífico de pequeno porte. A inspeção ocorreu em julho de 2022, onde os resultados foram comparados com as exigências de segurança da NR-13, especificamente no que tange a tubulações de vapor de água ligadas a caldeiras.

RESULTADOS

Identificação da Tubulação de Interligação da Caldeira a Vapor

As caldeiras são classificadas em 02 tipos básicos, as flamo tubulares e aquotubulares, contudo além dessas, também existem as caldeiras elétricas que tem pouca utilização quando comparada com as demais (BOTELHO et al.,2015). a) Flamo tubular: os gases quentes gerados do processo de combustão circulam internamente nos tubos e a água que será transformada em vapor fica em volta dos tubos, havendo a troca de calor; b) Aquotubulares: a água circula internamente nos tubos e os gases do processo de combustão envolvem os tubos, havendo a troca de calor; c) Elétricas: transformação de energia elétrica em energia térmica por meio do fluxo de elétrons por um condutor. Na empresa objeto de estudo, se encontra instalada e em operação uma caldeira flamo tubular vertical, que possui as características técnicas, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Características da caldeira.

Ano de Reconstituição do Prontuário	2017
Modelo da caldeira	Flamo tubular vertical
Temperatura do vapor saturado (°C)	163,5
Pressão de trabalho (Kgf/cm ²)	6,0
Pressão de teste (Kgf/cm ²)	9,0
Superfície de aquecimento (m ²)	16,6
Capacidade de produção vapor (Kgv/h)	400
Categoria da caldeira	B
Código de fabricação	ASME I

De acordo com informações da empresa, a caldeira é submetida a uma inspeção periódica anual, além de possuir um livro de registro de segurança, tendo em 2017 o prontuário da caldeira reconstituído. A caldeira opera com uma pressão de trabalho de aproximadamente 67% da pressão de teste, o que compreende 6,0 Kgf/cm² e possui como matéria prima de queima, cavaco, lenha e restos de madeira. Importante mencionar que as informações foram obtidas junto a empresa objeto de estudo e que a pedido dela, não terão suas informações empresariais divulgadas, garantindo o sigilo da pesquisa. Na Figura 1 é possível observar a caldeira flamo tubular vertical instalada e em plena operação na empresa, gerando e

acumulando vapor saturado para alimentar o processo industrial.



Figura 1: Identificação da caldeira flamo tubular vertical.

Contudo, apesar da caldeira ser submetida as exigências da NR-13, tendo inspeção periódica anual, possuir livro de registro de segurança e ter o prontuário da caldeira reconstituído em 2017, não há registro de plano de manutenção, de relatórios e documentos de inspeção periódica do sistema de tubulação de interligação da caldeira, conforme informações da gerência industrial, o que faz com que a empresa não atenda as exigências da NR-13 no que tange a tubulação de vapor da sua caldeira.

Com a revisão que houve em 2014 por meio da Portaria MTE nº594, de 28 de abril de 2014, que promoveu alteração da NR-13, as tubulações ligadas a caldeiras também passaram a ser controladas pela norma (BRASIL, 2019).

As tubulações ou sistemas de tubulações são constituídas por tubos, flanges, válvulas, acessórios e conexões, que devem atender aos requisitos da NR-13, no que tange ao controle de documentação de projeto, instalação e montagem, manutenção e reparo, e particularmente de inspeções de segurança (Santini, 2016). Na Tabela 2 é apresentado a descrição do sistema de tubulação de interligação da caldeira objeto de estudo, que apresenta para uma mesma linha de tubulação diferentes diâmetros. Já na Tabela 3 é apresentado a descrição do fluido de serviço da tubulação.

Tabela 2: Descrição do sistema de tubulação.

Tubulação	Classe Fluido	Material	Pressão Operação	PMTA ⁽¹⁾ Adotada	Temperatura Operação
Ø 3" – saída caldeira	C ⁽¹⁾	Aço Carbono	6,0 Kgf/cm ² (0,58 Mpa)	6,0 Kgf/cm ² (0,58 Mpa)	163,5 °C
Ø 1.½" – pontos da linha					
Ø 2" – pontos da linha					
Ø 2.½" – pontos da linha					

(1) vapor de água, asfixiantes simples ou ar comprimido (2) pressão máxima de trabalho admissível.

Tabela 3: Descrição do fluido de serviço.

Fluido de Serviço	Pressão de Operação	Temperatura de Operação	Classe C ⁽¹⁾
Vapor de água Classe "C"	6,0 Kgf/cm ²	163,5 °C	Vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido

Avaliação do sistema de tubulação

O sistema de tubulação objeto de estudo, é uma linha de vapor de baixa pressão que alimenta a área industrial do abatedouro frigorífico, especificamente na área de abate de bovinos e suínos e na área de subproduto “sala bucho”. A linha é utilizada na forma de vapor saturado para esterilização das facas e equipamentos do abate, para limpeza de subprodutos e para limpeza geral dos equipamentos da área fabril. Na Figura 2 é possível observar os pontos de alimentação da linha de vapor na área de abate e na área de subproduto que é denominado na área fabril como “bucho”.



Figura 2: Pontos de alimentação da linha de vapor no processo.

Como subsídio para avaliação visual direta da tubulação de interligação da caldeira, foi elaborado um isométrico do fluxo de processos com a identificação da linha e seus acessórios, como demonstrado na Figura 3.

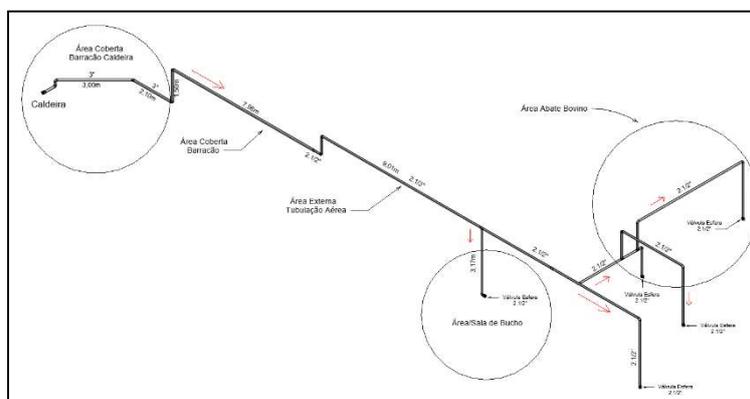


Figura 3: Isométrico do fluxo da linha de vapor.

Podemos observar na Figura 3 que a caldeira se encontra instalada uma distância de aproximadamente 22,01 m do seu primeiro ponto de alimentação no processo que é a área de subproduto “sala bucho”. Também é possível observar que a linha de vapor faz uso de válvulas esferas de $\varnothing 3''$ e $\varnothing 2.1/2''$ e que os pontos da linha de vapor se concentram na área de abate de abate bovino. Portanto, vejamos que o layout da linha e os pontos de vapor são de fáceis entendimento, visto que a unidade é abatedouro frigorífico de pequeno porte.

Avaliação visual da tubulação

Como forma de avaliação da linha de tubulação se utilizou de um método de ensaio não destrutivo, baseado na inspeção visual direta, sem a utilização de equipamentos auxiliares, resultando apenas da observação direta no sistema de tubulação de interligação da caldeira. Conforme Figura 4 é possível observar a saída da tubulação da caldeira para alimentação do processo industrial.

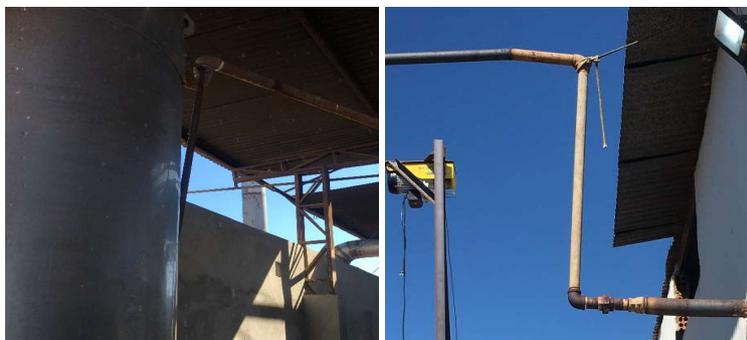


Figura 4: Saída tubulação da caldeira.

Podemos observar na Figura 4 que a linha de tubulação não possui pintura de identificação e muito menos isolamento térmico para reduzir a troca térmica entre o ambiente e a tubulação, bem como para proteger e inibir a exposição da tubulação que estará quente.

É notório pelas imagens da Figura 4 que a linha de tubulação não foi submetida a uma análise considerando a estrutura fabril existente, uma vez que a partir do isométrico do fluxo da linha de vapor da Fig.3, fica evidente a falta de estrutura na escolha do fluxo a ser percorrido pela tubulação, ao passo que a sua estrutura de suporte em determinado ponto está sendo sustentada de forma improvisada por uma corda.

Também foi possível observar a presença de corrosão em pontos da linha de tubulação, que dependendo do estágio pode avançar para as partes internas do metal com o tempo, o que pode levar ao afinamento e eventualmente falha do tubo. Na Figura 5 é possível observar a linha de tubulação de vapor que alimenta o processo.



Figura 5: Linha tubulação de vapor para processo.

Podemos constatar também a partir da Figura 5, ausência de pintura de identificação e isolamento térmico da linha de tubulação, além disso, como já mencionado não há registros de relatórios e documentos que demonstrem que a linha de tubulação seja submetida a inspeção periódica, para cumprir um plano de

manutenção, tanto é, que conforme informações fornecidas pela empresa, desconhece as exigências de controle das tubulações conforme NR-13. Por fim, não foi evidenciada a existência de dispositivo de indicação de pressão (manômetro) instalado diretamente na tubulação.

DISCUSSÃO

Ficou evidente que o sistema de tubulação de interligação da caldeira não atende os requisitos da NR-13, especificamente quanto ao que se pede em seu item 13.6.2.6, mesmo que essa avaliação tenha se pautando unicamente no método visual (qualitativo).

Neste contexto, as situações identificadas na avaliação visual demonstram evidências de preocupação com a linha inspecionada, visto que aparentemente essa forma de condução do vapor já vem sendo realizada a algum tempo.

Contudo, a empresa objeto de estudo deve possuir conhecimento da obrigatoriedade de atendimento da NR-13 para tubulações, visto que a revisão que incluiu as tubulações na NR-13 foi em 2014 e ainda mais que a empresa já realiza a inspeção anual na sua caldeira sob a responsabilidade técnica de Profissional Habilitado (PH).

É importante que além da caldeira, o seu sistema de tubulação mesma que contenha fluido classe C atenda as exigências da NR-13, uma vez que são os responsáveis por conduzir os fluidos para alimentar os processos industriais.

Apesar do estudo ter se baseado somente no Exame Visual da Tubulação, é imprescindível que se aplique outras ferramentas de ensaio não destrutivos, como por exemplo Exame Ultrassônico (Inspeção de medição de espessura por ultrassom) e consequente cálculo de espessura mínima para o tubo, com relação à pressão de trabalho.

Portanto, é imprescindível que cumpra os critérios técnicos contidos na NR-13 para tubulações sob a responsabilidade técnica de Profissional Habilitado (PH), considerando: Elaboração de plano de manutenção; Elaboração de um programa e um plano de inspeção; Instalar indicador de pressão de operação na linha; Elaboração de fluxograma de engenharia com a identificação da linha e seus acessórios; Elaboração de relatórios de inspeção; Realização da identificação e sinalização da linha.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no presente estudo permitiram obter as seguintes conclusões conforme NR-13 para a tubulação da linha de vapor: Ausência de um plano de manutenção; Ausência de um programa e um plano de inspeção; Ausência de um indicador de pressão de operação; Ausência de fluxograma de engenharia com a identificação da linha e seus acessórios; Ausência de relatórios de inspeção; Ausência de identificação e sinalização.

Por fim, o empregador entender a importância da NR-13 emerge para a necessidade de atendimento dos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção das tubulações industriais, visando sempre à segurança e a saúde dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, M.H.C.. **Operação de caldeiras**: gerenciamento, controle e manutenção. 2 ed. São Paulo: BLUCHER, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR-13**: caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos. Brasília: MTP, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR-13**: caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos. Brasília: MTP, 2022.

MELO, G. F.; LAURENTINO, J. V. A.; SANTOS, L. O.. Análise de diferentes fontes de água tratada por osmose reversa aplicada em caldeiras industriais. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0014>

MOTA, M. M.. **Aumento de geração de vapor em uma caldeira de biomassa**: estudo em função da estabilidade

operacional. Monografia (Especialização em Indústria 4.0) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

SANTOS, L. O.; BARBOSA, S. A.; RIBEIRO, W. F.. Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais. **Interfaces científicas: saúde e ambiente**, v.5, n.1, p.163-172, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2016v5n1p163-172>

SANTOS, L. O.. **Alimentação de caldeiras industriais por água de chuva: uma análise da viabilidade técnica e econômica**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SANTINI, J. B.. **Inspeção de sistema de tubulação NR-13**. 2016.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.