

Modelo de rede Bayesiana para inferir cultura de segurança em empresas na etapa de distribuição de energia elétrica

RESUMO

Luis Geraldo Gomes da Silva
luis.geraldo@ufabc.edu.br
Universidade Federal do ABC,
Santo André, São Paulo.

João Manoel Losada Moreira
joao.moreira@ufabc.edu.br
Professor na Pós-Graduação em
Energia
Universidade Federal do ABC
(UFABC)

A supressão de acidentes de trabalho depende de vários fatores comportamentais e institucionais dentro das empresas, normalmente resumidos como cultura de segurança, que incluem desde a utilização de equipamentos de proteção até o engajamento formal da alta direção. Redes Bayesianas permitem inferir por meio de um indicador o nível de cultura de segurança (NCS) a partir de variáveis monitoradas dentro da empresa. Neste trabalho selecionamos 14 variáveis abrangentes para inferir as condições necessárias para existir um alto NCS em empresa de distribuição de eletricidade. As condições escolhidas são adoção pela liderança da empresa em segurança do trabalho como um valor, percepção de riscos nas atividades, prestação de contas, aprendizagem com erros anteriores, ações em prol da segurança do trabalho, ausência de acidentes fatais e evidências de que todas essas condições são monitoradas. O modelo foi utilizado em 14 empresas de distribuição de energia elétrica. A correlação entre o indicador NCS e a taxa de mortalidade devido a acidentes nas empresas, evidencia a qualidade da inferência do modelo. À medida que aumenta o valor do NCS das empresas verifica-se a redução da taxa de mortalidade. Este comportamento mostra que monitorar a cultura de segurança por meio de redes Bayesianas é adequado, pois pode ser um procedimento abrangente ao produzir um indicador para diferenciar peculiaridades entre empresas, como por exemplo, a cultura de segurança entre empresas líderes e terceirizadas.

PALAVRAS-CHAVE: Acidente de trabalho fatal. Empresa de distribuição de energia elétrica. Cultura de segurança. Rede Bayesiana.

INTRODUÇÃO

Os acidentes com energia atingem trabalhadores e moradores do entorno dos sítios das instalações dos empreendimentos dos sistemas de energia, tais como usinas geradoras de eletricidade, linhas de transmissão, redes de distribuição, subestações elétricas etc. (Burgherr et al. 2012; Hirschberg et al. 1998). Entre os fatores que afetam os números de acidentes de trabalho fatais nas indústrias que atuam com produtos ou ações perigosas como os da cadeia de energia elétrica encontram-se aqueles ligados ao nível de cultura de segurança de trabalho existente nas empresas e o engajamento da alta gerência com as variáveis que o caracterizam. Várias pesquisas demonstram que o nível de cultura de segurança de trabalho prevalecente nas empresas tem forte impacto no número de acidentes de trabalho fatais. Para a supressão de acidentes de trabalho fatais é necessário que as empresas tenham um elevado nível de cultura de segurança de trabalho (Morrow et al., 2014; Garcia-Herrero et al., 2013; Vinodkumar, Bhasi, 2009; IAEA, 2002).

Embora haja um entendimento de que uma empresa com elevado nível de cultura de segurança de trabalho tenda a apresentar menor número de acidentes de trabalho fatais, este conceito é considerado de difícil mensuração. O nível de cultura de segurança de trabalho depende da cultura da organização, relação entre sua gerência de segurança e gerência de produção com comissões de segurança dos trabalhadores como a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) (Silva, 2009). Para contornar esta dificuldade, no setor nuclear alguns pesquisadores propuseram modelos de redes Bayesianas para inferir o nível de cultura de segurança de usinas nucleares (Kim et al., 2017; Garcia-Herrero et al., 2013). Os modelos levam em consideração dados da cultura organizacional das empresas, ambiente de trabalho e histórico de acidentes normalmente apresentados em bancos de dados. A monitoração feita por redes Bayesianas pode antecipar uma degradação das condições de trabalho e possibilitar correções específicas (Kim et al., 2017; Garcia-Herrero et al., 2013) ou melhorias à supressão dos acidentes de trabalho fatais (Silva, 2017).

O nível de cultura de segurança de trabalho não é uniforme em todas as empresas da etapa de distribuição de energia elétrica. Em algumas empresas há bastante informações, enquanto para outras os dados são escassos. O nível de cultura de segurança de trabalho prevalecente em uma empresa pode ser um bom indicador de prevenção de acidentes de trabalho fatais (Kim et al., 2017). Empresas líderes de distribuição de energia elétrica são conhecidas por possuírem um nível de cultura de segurança de trabalho mais elevado, enquanto empresas terceiras, possuírem um nível de cultura de segurança de trabalho mais baixo. O nível de cultura de segurança de trabalho pode explicar as diferenças entre o número de acidentes de trabalho fatais nestes dois grupos de empresas. Os acidentes de trabalho fatais são registrados em bancos de dados para fins de averiguações legais, médicas, trabalhistas e para estudos de implementação de políticas públicas (Silva, 2017; Batra, Ioannides, 2001; ILO, 1996).

O objetivo deste artigo é apresentar um modelo baseado em redes Bayesianas para inferir o nível de cultura de segurança de trabalho em empresas na etapa de distribuição de energia elétrica do Brasil. O monitoramento por redes Bayesianas tem como finalidade ser uma ferramenta de contribuição à supressão dos acidentes de trabalho fatais (Silva, 2017). A pesquisa também correlaciona acidentes de trabalho fatais das empresas na etapa de distribuição

de energia elétrica com os seus níveis de cultura de segurança de trabalho, através da taxa de mortalidade.

REFERENCIAL TEÓRICO

O nível de cultura de segurança de trabalho

Os pré-requisitos básicos para haver um alto nível de cultura de segurança de trabalho em uma empresa é a existência de um sistema de normas de segurança de trabalho na organização e a existência de um sistema de gerenciamento de segurança de trabalho efetivo na organização. A *International Atomic Energy Agency* (IAEA) introduziu o conceito de cultura de segurança para tratar destas questões no setor nuclear, na década de 1980 (IAEA, 2002). Alguns pesquisadores fizeram levantamento e revisão de tentativas de monitoramento do nível de cultura de segurança de trabalho em diversos setores inclusive na área médica (Chouldhry et al., 2007; Guldenmund, 2000). De forma geral os autores concluem que modelos quantitativos podem ser usados para monitorar o nível de cultura de segurança de trabalho de organizações, interpretar resultados, identificar pontos fracos e induzir novas práticas visando a eliminação de acidentes (Strauch, 2015; Nielsen, 2014). Outros apresentam as características necessárias para uma organização ter um elevado nível de cultura de segurança de trabalho. Entre as características ressalta-se a disponibilização de dados sobre acidentes de trabalho fatais para que eles sejam estudados e suas causas raiz sejam compreendidas (Kim et al., 2017; Silva, 2017; Garcia-Herrero et al., 2013).

As lições aprendidas podem viabilizar a implementação de várias correções para evitá-los no futuro, seja na adequação dos postos de trabalho, na forma de treinamento, uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e/ou equipamento de proteção coletivo (EPC), além disso, emprego de procedimentos mais adequados para os trabalhos perigosos (Chouldhry et al., 2007; IAEA, 2002; Guldenmund, 2000).

Outra característica importante é a comprovação aos trabalhadores que, a segurança de trabalho seja efetivamente um valor importante e compartilhado por toda a organização. Esta característica é verdadeira quando percebida pelos trabalhadores na forma de ações e evidências (Kim et al., 2017; Feng et al., 2014; Silva, Moreira, 2014; Edwards et al., 2013; IAEA, 2002).

A relação do nível de cultura de segurança de trabalho com os acidentes de trabalho fatais

Quando relacionado o nível de cultura de segurança de trabalho com acidentes de trabalho fatais nota-se a não incorporação das boas condições de segurança de trabalho no dia a dia nas organizações (Smith et al., 2013), da falta de um compromisso organizacional visível para a segurança, da iniciativa de se buscar atalhos frente aos padrões de segurança em prerrogativa ao tempo de execução e necessidade produtiva praticada na organização. Em outras palavras pelo baixo nível de cultura de segurança de trabalho desenvolvido pela organização empresarial (Campbell, Dini, 2015), da falta de monitoramento e estudos científicos sobre os acidentes de trabalho fatais (Silva, 2017; Silva, Moreira, 2014).

O nível de segurança de trabalho na força de trabalho

Para prevalecer um alto nível de cultura de segurança de trabalho exige-se que, políticas de segurança de trabalho sejam efetivamente estabelecidas entre a força de trabalho, isto é, entre trabalhadores próprios e terceirizados de uma organização empresarial. Os compromissos dos gerentes e diretores de uma empresa em relação à segurança de trabalho devem ser demonstrados através de indicadores de garantia de recursos humanos e financeiros (Campbell, Dini, 2015).

A política de segurança de trabalho deve apresentar indicadores de critérios de qualificação de todo o corpo da força de trabalho, propostas inovadoras, avaliações das propostas, auditoria e monitoramento do desempenho de segurança, sobretudo, implantação de ações reais à supressão dos acidentes de trabalho fatais (Silva, 2017). O nível de cultura de segurança de trabalho depende de inúmeros fatores, portanto, tem-se que garantir que todos eles sejam observados. Um modo de se observar a participação de cada fator na evolução do nível de cultura de segurança de trabalho de uma empresa é observá-lo de forma quantitativa, por exemplo, por meio de redes Bayesianas. A existência de observações e condições para que se verifique um estado possível de um sistema ou organização pode ser representado por meio de redes Bayesianas (Pourret et al, 2008).

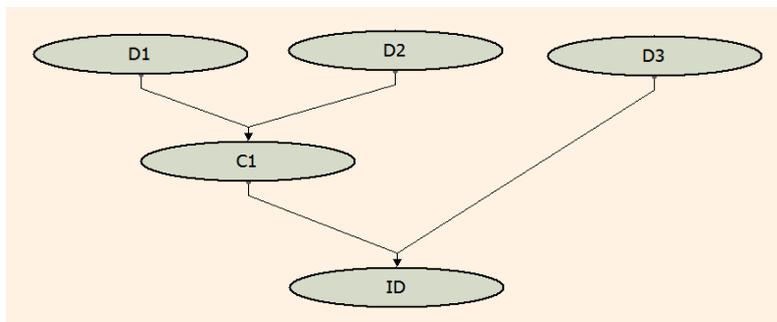
MÉTODOS E DADOS

Avaliação da cultura de segurança de trabalho por meio de rede Bayesiana

Para se construir um modelo de inferência do nível de cultura de segurança de trabalho utilizando redes Bayesianas (Kim et al, 2017; Pourret et al, 2008) é necessário conhecer um conjunto de dados ou variáveis (D_n) que descrevam o estado quanto a segurança de trabalho da organização. Em seguida é necessário estabelecer algumas condições (C_n) entre estas D_n para que se obtenha a informação desejada (ID) que, aqui é o nível de cultura de segurança de trabalho da organização.

A Figura 1 apresenta esquematicamente uma arquitetura de uma rede Bayesiana no qual há três variáveis (D_n) que contribuem para o estado do nível de cultura de segurança de trabalho da organização e uma condição (C_n) para que se possa obter a informação desejada (ID). Na Figura 1, C_1 é uma C_n necessária para obter a ID e D_3 , embora uma D_n , também é uma C_n necessária para se obter a ID. Tecnicamente, o valor final da ID é uma probabilidade condicional, contudo deve ser interpretado como um indicador relativo dessa ID e não um indicador absoluto na forma de uma probabilidade. Isto porque, como será visto adiante, é muito difícil determinar e atribuir às probabilidades de situação falsa ou verdadeira das variáveis D_n . Portanto, se a rede da Figura 1 é aplicada para um grupo de organizações o resultado obtido para cada uma delas é apropriado para comparações entre elas quanto à situação da ID (Pourret et al, 2008).

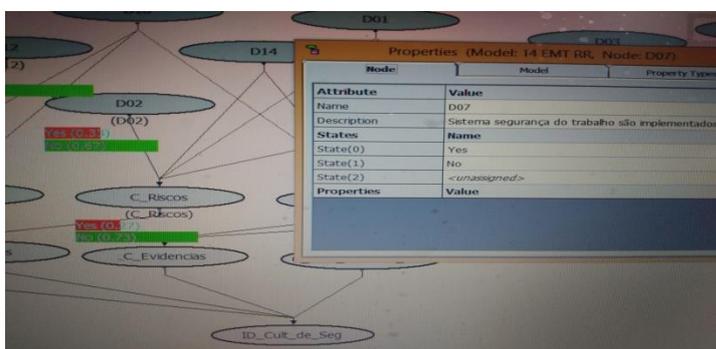
Figura 1 – Modelo simples de rede Bayesiana com 3 variáveis (D_1 , D_2 e D_3) e uma condição (C_1) dependente de valores de duas variáveis (D_1 e D_2). Nesta rede, D_3 e C_1 são condições cujas probabilidades condicionais definem a ID. O valor final deve ser interpretado como um indicador da ID



Fonte: adaptado de Silva (2017)

Neste trabalho a ID é um indicador relativo do nível de cultura de segurança de trabalho de uma da empresa. Como a IAEE (2002) e outros pesquisadores internacionais avaliam o nível de cultura de segurança das organizações com notas de 0,00 a 1,00: esta pesquisa seguiu este mesmo método, isto é, um bom ID é 1,00. A cultura de segurança não é um conceito abstrato (Kim et al., 2017; Silva, 2017; Morrow et al., 2014; Garcia-Herrero et al., 2013; Vinodkumar, Bhasi, 2009; IAEA, 2002). O nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização depende das interações das D_n existentes e praticadas em favor da segurança de trabalho em todas as áreas e as condições C_n . Cada organização é avaliada em cada uma das D_n por meio de probabilidades de que cada D_n seja verdadeira. Estas probabilidades são os dados de entrada ao modelo de Redes Bayesianas (D_1 , D_2, \dots). Se a mesma rede Bayesiana é utilizada para outras empresas de um mesmo setor, informações semelhantes são obtidas para cada uma delas e, adicionalmente, podem ser feitas comparações entre elas. O software utilizado para realizar as avaliações com redes Bayesianas é o Microsoft Belief Network Program – MSBNx (Kadie et al., 2001), demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Demonstração da aplicação do Microsoft Belief Network Program (MSBNx)



Fonte: adaptado de Silva (2017)

O MSBNx utilizado em estudos por meio de inferência de rede Bayesiana de análise probabilística leva em conta incertezas epistêmicas e aleatórias. A análise Bayesiana é dada pelo produto de uma distribuição a priori, que define a falta de conhecimento (incertezas epistêmicas) e uma função de verossimilhança, que descreve a aleatoriedade dos dados (incerteza aleatória). Com base nestas

premissas a rede Bayesiana é utilizada para descrever o conjunto de dados (Spada, Burgherr, 2020). O MSBNx é um aplicativo Windows baseado em componentes que suportam criação, manipulação e avaliações de modelos probabilísticos de redes Bayesianas com seus gráficos e/ou diagramas (Kadie et al., 2001).

Dados sobre os acidentes de trabalho fatais das empresas

Neste trabalho selecionou-se 14 empresas líderes da etapa de distribuição de energia elétrica do Brasil, buscando cobrir todo o território nacional, em que pode haver dados disponíveis.

Tabela 1 – Taxa de mortalidade das empresas selecionadas da etapa de distribuição de energia elétrica do Brasil, no período de 2004-2015

Empresa	Acidente trabalho fatal			Média da força de trabalho (mFT)	Taxa de mortalidade (TM)
	Próprios	Terceirizados	Força de trabalho		
A	3	14	17	15.798	10,8
B	2	28	30	11.249	26,7
C	4	5	9	3.249	27,7
D	8	55	63	18.700	33,7
E	4	7	11	2.940	37,4
F	1	30	31	7.107	43,6
G	9	43	52	11.481	45,3
H	3	54	57	11.801	48,3
I	10	17	27	5.295	51,0
J	4	37	41	6.263	65,5
K	5	18	23	3.175	72,4
L	3	51	54	5.724	94,3
M	6	26	32	3.067	104,3
N	2	31	33	2.621	125,9

Fonte: adaptado de Silva (2017)

Os dados sobre acidentes de trabalho fatais das empresas foram obtidos de estatísticas de acidentes de trabalho fatais oferecidas pelo Relatório de Estatísticas de Acidentes do Setor Elétrico Brasileiro (REASEB) da Fundação COGE (Funcoge) e pelos Indicadores de Segurança do Trabalho e das Instalações (ISTI) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e consolidados por Silva (2017).

O período analisado foi entre 2004-2015. Na Tabela 1 apresenta os registros dos acidentes de trabalho fatais e suas taxas de mortalidade. Para a relação entre acidentes de trabalho fatais e nível de cultura de segurança de trabalho das empresas considerou-se a taxa de mortalidade de cada empresa. A taxa de mortalidade é o número de acidentes de trabalho fatais dividido pela média da força de trabalho vezes 10.000 trabalhadores. A média da força de trabalho no período é o número da força de trabalho dividido pelos anos examinados. A razão de 10.000 trabalhadores é utilizada para permitir a comparação dos resultados das empresas em estudo.

Variáveis importantes e condições para avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho

A Agência Internacional de Energia Nuclear propôs um conjunto de C_n e D_n importantes para se avaliar o nível de cultura de segurança de trabalho em uma organização (IAEA, 2002). Outros pesquisadores baseiam-se em suas avaliações de nível de cultura de segurança de trabalho as propostas da IAEA (Kim et al., 2017; Silva, 2017; Garcia-Herrero et al., 2013). Neste trabalho utilizaram-se os dados da IAEA e de outros pesquisadores para definir o conjunto de C_n e D_n para avaliar o nível de cultura de segurança de trabalho das empresas selecionadas (IAEA, 2002; Kim et al., 2017; Silva, 2017; Garcia-Herrero et al., 2013).

Passos para avaliar o nível de cultura de segurança de trabalho nas empresas utilizando redes Bayesianas

Assim os passos para a avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho utilizando redes Bayesianas são: Identificação das C_n importantes para determinar o nível de cultura de segurança de trabalho das empresas; Identificação das D_n importantes e disponíveis que permitam avaliar as C_n determinantes do nível de cultura de segurança de trabalho das empresas; Construção da arquitetura das redes Bayesianas; e a Avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho a partir das redes Bayesianas e análises. A confirmação da adequação da avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho das empresas é feita por meio da correlação de seu valor com o número de acidentes de trabalho fatais.

MODELO PARA O NÍVEL DE CULTURA DE SEGURANÇA DE TRABALHO UTILIZANDO REDES BAYESIANAS

Identificação das condições e variáveis importantes para definir o nível de cultura de segurança de trabalho

Neste artigo as C_n consideradas importantes para que uma empresa de distribuição de energia elétrica tenha um alto nível de cultura de segurança de trabalho são: segurança do trabalho como valor, como a liderança da empresa abraça a segurança do trabalho como valor, percepção de riscos nas atividades, prestação de contas, aprendizagem com erros anteriores, ações em prol da segurança do trabalho, ausência de acidentes de trabalho fatais e evidências de que todas essas condições são monitoradas. O Quadro 1 apresenta as C_n necessárias citadas acima e as D_n importantes para um alto nível de cultura de segurança de trabalho que foram selecionadas conforme descrito (Variáveis importantes e condições para avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho). O número total de D_n selecionadas das recomendações da IAEA foram 14 e a essas selecionamos também o histórico de ocorrência de acidentes de trabalho fatais nos últimos 3 anos. O Quadro 1 também relaciona as D_n com as C_n necessárias para se obter alto nível de cultura de segurança de trabalho.

As probabilidades de que cada D_n seja verdadeira ou falsa depende de critérios para que não sejam feitas de forma arbitrária. Os critérios estabelecidos para este trabalho encontram-se no ANEXO A. Eles permitem estabelecer as

probabilidades representativas da situação de cada uma das empresas avaliadas quanto o nível de cultura de segurança de trabalho.

Quadro 1 – Condições necessárias e variáveis importantes para que uma empresa tenha um alto nível de cultura de segurança de trabalho

Condições necessárias para alto nível de cultura de segurança de trabalho	Variáveis importantes para alto nível de cultura de segurança de trabalho
Riscos Prestação de contas	D01: Procedimentos e regulamentos de segurança de trabalho são observados
Riscos	D02: As tarefas que envolvem perigo são realizadas com cuidado e cautela e de acordo com procedimentos da segurança de trabalho
Aprendizagem	D03: Situações perigosas e possíveis erros são percebidos e ações para evitá-las são estudadas e preparadas previamente
Aprendizagem	D04: Treinamento e educação sobre regulação e procedimentos de segurança de trabalho são fornecidos aos trabalhadores periodicamente
Valor	D05: Segurança de trabalho é colocada acima do negócio da organização e distribuição de recursos humanos.
Valor Liderança	D06: Liderança e profissionalismo sobre segurança de trabalho são demonstrados pela alta administração da organização
Riscos Prestação de contas	D07: Sistemas de segurança para o trabalho são implementados
Valor Liderança	D08: Políticas de segurança de trabalho são compartilhadas e comunicadas a todos os membros da organização
Aprendizagem	D09: Avaliações de cultura de segurança são realizadas periodicamente
Aprendizagem Valor Liderança	D10: Resultados de avaliações de segurança de trabalho são refletidos em discussões nas tarefas de trabalho
Prestação de contas	D11: Todos são responsáveis pela segurança de trabalho e chefes de setores prestam contas sobre os incidentes e acidentes
Liderança	D12: Questões sobre segurança são gerenciadas de forma que conflitos sejam resolvidos em favor da segurança de trabalho
Prestação de contas	D13: Questões sobre segurança de trabalho são levantadas e anormalidades são reportadas sem medo de retaliação
Riscos Aprendizagem	D14: EPI estão disponíveis e há instruções de como usá-los em todas as áreas da organização
Sem acidentes fatais	Histórico dos três últimos anos sobre a ocorrência ou não de acidente de trabalho fatal

Fonte: adaptado de Silva (2017)

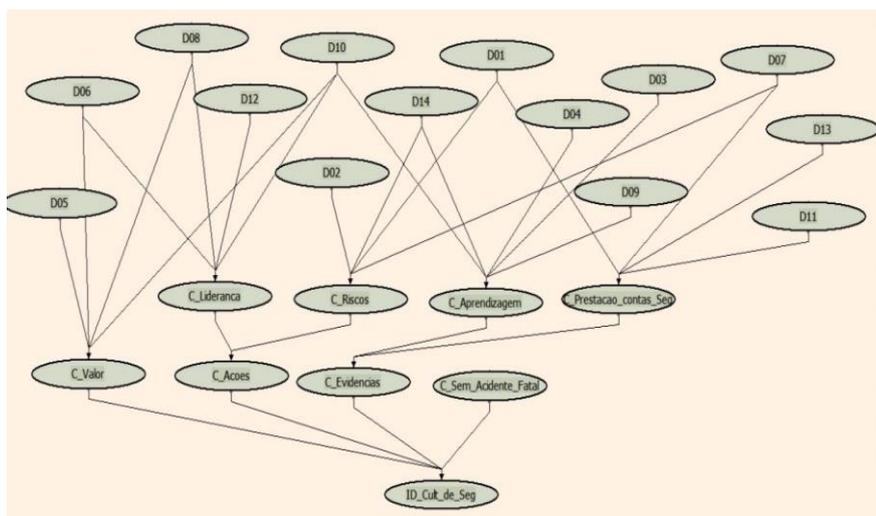
Arquitetura de rede Bayesiana para estimar o nível de cultura de segurança de trabalho das empresas

A arquitetura da rede Bayesiana para estimar o nível de cultura de segurança de trabalho de uma empresa de distribuição de energia elétrica é apresentada na Figura 3.

A probabilidade condicional de cada uma das condições (C_Liderança, C_Riscos, C_Aprendizagem, C_Prestação de contas) apresentadas anteriormente (Identificação das condições e variáveis importantes para definir o nível de cultura de segurança de trabalho) ser verdadeira, depende das probabilidades arbitradas (ANEXO A) para as D_n , dado que cada um dos componentes ocorra. Todas estas avaliações são consolidadas em quatro condições C_n finais (C_Valor,

C_Ações, C_Evidências e C_Sem_Acidente_Fatal) da segurança de trabalho na organização. A informação desejada (nível de cultura de segurança de trabalho da organização) é dada por um indicador, ID_Cult_de_Seg, que retrata o nível de cultura de segurança de trabalho da organização.

Figura 3 – Arquitetura do modelo de avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho utilizando redes Bayesianas



Fonte: adaptado de Silva (2017)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta o nível de cultura de segurança de trabalho obtido para cada empresa utilizando o modelo de rede Bayesiana apresentado na Figura 2. O nível de cultura de segurança de trabalho das empresas variou entre 0,442 a 0,258.

Tabela 2 – Nível de cultura de segurança de trabalho das empresas estudadas obtido com o modelo baseado em redes Bayesianas

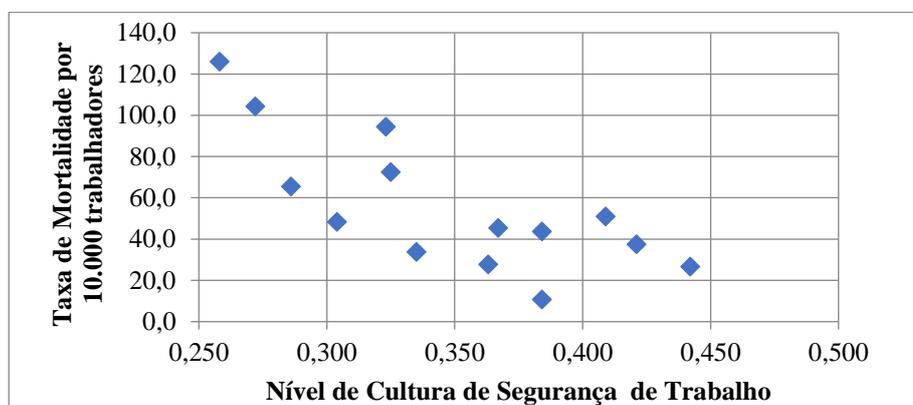
Empresa	Nível de cultura de segurança de trabalho	Empresa	Nível de cultura de segurança de trabalho	Empresa	Nível de cultura de segurança de trabalho
A	0,384	F	0,384	K	0,325
B	0,442	G	0,367	L	0,323
C	0,363	H	0,304	M	0,272
D	0,335	I	0,409	N	0,258
E	0,421	J	0,286	-	-

Fonte: adaptado de Silva (2017)

A probabilidade de que os trabalhadores próprios e terceirizados enfrentam dois níveis de cultura de segurança do trabalho nas empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil são afirmadas pelos resultados encontrados. Em todas as variáveis observadas as notas atingiam certa elevação quando se trata dos trabalhadores próprios, entretanto, quando se observa os trabalhadores terceirizados as empresas não informam e não apresentam o desempenho de segurança do trabalho desta parte da força de trabalho.

A Figura 4 mostra a correlação entre o nível de cultura de segurança de trabalho apresentado na Tabela 2 e a taxa de mortalidade por 10.000 trabalhadores devido à ocorrência de acidentes de trabalho fatais em cada empresa. A taxa de mortalidade nas empresas variou entre 10,8 e 126 por 10.000 trabalhadores.

Figura 4 – Correlação da taxa de mortalidade com o nível da cultura de segurança de trabalho em 14 empresas de distribuição de energia elétrica do Brasil



Fonte: adaptado de Silva (2017)

A taxa de mortalidade (TM) caso fosse observada separada entre trabalhadores próprios e terceirizados como é comumente analisada pelas organizações, em algumas empresas a TM seria 0,00. A TM alta representa morte entre os trabalhadores terceirizados. A determinação do nível de cultura de segurança do trabalho relacionado com a TM de sua força de trabalho quantifica o quanto estas organizações têm que se esforçarem para melhorarem os seus processos ligados a segurança do trabalho.

Modelo de monitoramento de nível de cultura de segurança de trabalho utilizando rede Bayesiana

Algumas das D_n selecionadas estão diretamente relacionadas à existência de normas de segurança de trabalho (D01, D02, D03, D04). Outras estão diretamente relacionadas à existência de um sistema de gerenciamento de segurança (D03, D04, D06, D07, D08, D13, D14). A existência de normas e gerenciamento são pré-requisitos para se verificar C_n reais de segurança de trabalho (Kim et al., 2017).

Seleção de condições e variáveis necessárias para alto nível de cultura de segurança de trabalho

A rede Bayesiana proposta deve produzir um indicador que consiga identificar diferenças de cultura de segurança de diferentes empresas a partir do monitoramento das C_n ou situação da empresa a partir das D_n monitoradas. As D_n monitoradas devem se relacionar com essas C_n e na rede proposta (Figura 2) elas produzem informação para as C_n Valor, Liderança, Risco, Aprendizagem e Prestação de contas. Uma organização que valoriza a segurança do trabalho, que liderança espelha esta preocupação, que as tarefas executadas sejam analisadas previamente quanto ao risco à saúde, periculosidade e se faz treinamento antes da execução, que há reuniões de lições aprendidas e que estas sejam efetivamente implementadas e que, finalmente, haja prestação de contas de todos, da liderança ao chão de fábrica, tem indicações de ter uma cultura de segurança mais apurada. Contudo, se há ações e evidências que demonstram tudo isso, certamente pode se afirmar que tem uma cultura de segurança apurada.

O critério de seleção das D_n a serem monitoradas para comporem o indicador de nível de cultura de segurança de trabalho da empresa produzido pela rede Bayesiana depende de sua relação direta com C_n de cultura de segurança e com a possibilidade e facilidade de monitoramento.

Arquitetura da rede Bayesiana para verificação de alto nível de cultura de segurança de trabalho

As C_n relevantes para um alto nível de cultura de segurança de trabalho definem a rede Bayesiana e as conexões entre as D_n e a as C_n . A seguir discutem-se as C_n mais relevantes, as D_n formadoras e como elas definem a arquitetura da rede Bayesiana.

A condição ‘Valor’ avalia os compromissos assumidos por uma organização quanto às questões humanas e sociais em favor da vida de sua força de trabalho. É comum encontrar nas apresentações das empresas declarações como “Segurança do trabalho está acima dos negócios”, portanto, através de determinadas D_n por meio de rede Bayesiana é possível quantificar o peso desta declaração das empresas.

Consistindo em o Valor da segurança de trabalho como uma das C_n formadoras do nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização (Kim et al., 2017; Silva, 2017; Garcia-Herrero et al., 2013; IAEA, 2002) neste nó contribuem quatro D_n capazes de quantificar e qualificar o espaço da segurança de trabalho dentro da organização: D_5 , D_6 , D_8 e D_0 .

A D_5 considera se os diretores das organizações demonstram obrigações através de comitê de segurança de trabalho que envolvam os trabalhadores próprios e trabalhadores terceirizados da empresa. A D_6 considera o envolvimento nas ações de segurança de trabalho pela alta administração de uma organização, enquanto D_8 verifica se as políticas em favor da segurança de trabalho são efetivamente compartilhadas e informadas a todos os membros da organização. Ou seja, se a alta administração cria meios reais para a boa prática da segurança de trabalho. Por fim, D_{10} coteja se as políticas em prol da segurança de trabalho são avaliadas, discutidas e seus resultados aparecem nos trabalhos diários de toda a organização.

A C_n Ações para segurança de trabalho traz a análise de duas pré-condições: Liderança e Riscos. A C_n Liderança é formada pelas D_6 , D_8 , D_{10} e D_{12} . A C_n controle dos Riscos é formada pelas D_1 , D_2 , D_7 e D_{14} . A C_n Ação em relação à segurança de trabalho existe quando há participação ativa em todos os graus de liderança e quando todos os riscos contra a segurança de trabalho são observados, de modo organizado por normas estratificadas em toda a organização. Portanto, se D_1 existe não deve ter a ocorrência de acidentes de trabalho fatais. Porque D_1 e D_2 cobrem que cautela e cuidado permeia a realização dos trabalhos. D_{14} afiança que EPI estejam disponíveis e que as instruções sobre o que são eles e como usá-los sejam informados para todos. A partir do envolvimento da alta administração da organização (D_6 , D_8 e D_{10}) espera-se o desenvolvimento contínuo que sistemas de segurança sejam praticados (D_7), sem envolvimento da alta administração e líderes as ações efetivas são sem efeitos. Além disso, um elevado nível de cultura de segurança de trabalho é demonstrado através da ação prática de se gerenciar conflitos em favor da segurança de trabalho (D_{12}).

A C_n Evidências para segurança de trabalho traz o exame de duas pré-condições: Aprendizagem e Prestações de contas. A C_n Aprendizagem é formada pelas variáveis D_3 , D_4 , D_9 , D_{10} e D_{14} . A C_n Prestação de contas sobre a segurança de trabalho é formada pelas D_1 , D_7 , D_{11} e D_{13} .

A C_n Evidências sobre a prática de uma boa segurança de trabalho a partir da C_n de Aprendizagem e Prestações de contas é uma comprovação de um elevado nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização. Os acidentes de trabalho fatais ocorridos em uma organização têm efeito negativo em toda a sociedade, sobretudo no trabalhador acidentado, seus familiares, seus companheiros de trabalho, na economia do país e nos serviços públicos.

Aprender com situação de perigos e tomar combates para evitá-las no futuro é uma das maneiras de supressão dos acidentes de trabalho fatais. Por isso, todas as organizações devem evidenciar a D_3 como também fornecer bom treinamento e boa educação sobre normas e procedimentos de segurança de trabalho (D_4), além disso, fornecer equipamento de proteção individual – EPI (D_{14}).

Aprendizagem se estabelece com avaliações internas e externas de como a organização sente o nível de cultura de segurança de trabalho (D_9) e principalmente, quando os resultados das avaliações são refletidos no dia a dia da realização dos trabalhos (D_{10}). A Prestação de contas é amparada pelas D_1 e D_7 , no entanto sua maturidade é alcançada quando todos os responsáveis pela segurança de trabalho prestam contas sobre as ocorrências, em cascata da alta direção aos chefes de setores (D_{11}). E por fim, uma D_n bastante pertinente é a D_{13} , pois a subnotificação dos acidentes de trabalho é bastante elevada e mascara completamente a realidade – alcança mais de 50% do número real de acidentes (Hamalainen, 2009; Santana et al. 2006; Correa, 2003). Uma parte da subnotificação infelizmente pode ser atribuída ao medo do trabalhador de alguma forma de retaliação.

A condição C_n “Histórico de acidentes de trabalho fatais nos últimos três anos” considera busca identificar a tendência de cultura de segurança reinante na organização. A informação importante é se está zerada, se, se mantém ou se está em processo de redução ou crescimento. Assim, essa condição é normalmente muito realista e importante e por isso ela é formada por uma única variável.

Arbitragem de probabilidades às variáveis

As organizações devem ser avaliadas quanto às D_n apresentadas no Quadro 1. Uma probabilidade aproximada a uma D_n deve ser arbitrada para a organização. As fontes de obtenção de informações sobre as D_n importantes para a avaliação do nível de cultura de segurança de trabalho das empresas foram: REASEB; Relatório de sustentabilidade e gestão das duas empresas; ISTI; site da Superintendência Regional do Trabalho e Emprego (SRTE); site do Ministério Público do Trabalho (MPT); e site das empresas selecionadas. As informações devem estar disponíveis para permitir uma avaliação criteriosa e não arbitrária. A disponibilidade dessas informações faz parte da C_n Evidência de nível de cultura de segurança de trabalho.

Resultados para o nível de cultura de segurança de trabalho e correlação com acidentes de trabalho fatais

Os resultados obtidos para o nível de cultura de segurança de trabalho das empresas não devem ser interpretados como valores absolutos de probabilidade condicional. Os valores finais obtidos entre 0,463 a 0,258 se interpretados como uma probabilidade condicional indicariam alta chance de ocorrer acidentes. Como foi discutido em Métodos e Dados (Avaliação da cultura de segurança por meio de rede Bayesiana), o resultado deve ser interpretado como um indicador relativo do nível de cultura de segurança de trabalho.

Observou-se que todas as D_n são importantes para fortalecer o nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização, pois a cultura de segurança abrange todas as suas áreas. O nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização depende do tratamento dado a cada uma das D_n e, além disso, depende das interrelações entre elas.

A correlação entre o nível de cultura de segurança de trabalho e a taxa de mortalidade das empresas apresentadas tem sentido. À medida que aumenta o nível de cultura de segurança de trabalho das empresas nota-se a redução da taxa de mortalidade. Este comportamento mostra que monitorar a cultura de segurança por meio de redes Bayesianas é adequado, pois é um procedimento abrangente, produz um indicador do nível de cultura de segurança de trabalho e permite diferenciar peculiaridades das empresas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de redes Bayesianas é apropriada para obter informação sobre o nível de cultura de segurança de trabalho de empresas. Observou-se que a escolha de um conjunto de D_n abrangentes é importante para monitorar o nível de cultura de segurança de trabalho de uma organização que depende do tratamento que ela dá a cada uma das variáveis relevantes para a cultura de segurança. Modelos de redes Bayesianas também permitem comparar a cultura de segurança de empresas distintas.

Os resultados permitiram também avaliar a cultura de segurança das empresas líderes e as terceirizadas da etapa de distribuição de energia elétrica. Os resultados mostraram que os trabalhadores próprios e trabalhadores terceirizados convivem em empresas de nível de cultura de segurança de

trabalho muito distintos. Em todas as D_n relevantes consideradas para a cultura de segurança as empresas terceirizadas apresentaram um desempenho inferior. .

Este estudo é um primeiro passo para desenvolvimento de um modelo de redes Bayesianas para aferir o nível de cultura de segurança de trabalho de empresas de distribuição de energia elétrica do Brasil. A determinação do nível de cultura de segurança de trabalho das organizações evidencia o quanto estas organizações têm que se esforçarem para reduzir o número de acidentes de trabalho fatais. Este trabalho evidencia que questões importantes para este fim são valores, missões, políticas, avaliações, lideranças, profissionalismo, gerenciamento de conflitos, procedimentos e outras variáveis aqui estudadas.

Bayesian network model to infer safety culture in companies in the electricity distribution stage

ABSTRACT

The suppression of accidents at work depends on several behavioral and institutional factors within companies, usually summarized as a safety culture, which range from the use of protective equipment to the formal engagement of senior management. Bayesian networks allow the level of safety culture (NCS) to be inferred through an indicator from variables monitored within the company. In this work, we selected 14 comprehensive variables to infer the necessary conditions for a high NCS in an electricity distribution company. The conditions chosen are adoption of occupational safety as a value by the company's leadership, perceived risks in activities, accountability, learning from previous mistakes, actions in favor of occupational safety, absence of fatal accidents and evidence that all these conditions are monitored. The model was applied to 14 electricity distribution companies. The correlation between the safety culture indicator (NCS) and the mortality rate due to accidents in the companies shows the quality of the model's inference. As the value of the NCS of companies increases, there is a reduction in the mortality rate. This behavior shows that monitoring the safety culture through Bayesian networks is appropriate because it is a comprehensive procedure, produces a clear indicator and allows differentiating peculiarities among companies such as the safety culture of leading and outsourced companies.

KEYWORDS: Fatal work accident. Electricity distribution companies. Safety culture. Bayesian networks.

ANEXO A

Para cada uma das 14 variáveis (D_n) pesquisadas nas empresas foi feito um arbitramento de probabilidades ou notas - entre 1,00 e 0,00. Este arbitramento obedece às possibilidades reais de como cada D_n encontra-se em cada empresa de acordo com as observações dos autores. Os critérios utilizados para este arbitramento encontram-se no Quadro A1 para as 14 variáveis D_n .

Quadro A1 – Critérios para arbitramento de probabilidade para as 14 variáveis D_n

<p>D01) 1,00: Os procedimentos e técnicas de Análise Preliminar de Risco (APR) são empregados para a eliminação de riscos pelos trabalhadores próprios (TP) e trabalhadores terceirizados (TT); 0,67: Os procedimentos e técnicas de APR são empregados para a eliminação de riscos pelos TP; 0,33: Existe denúncia do MTP sobre negligência aos procedimentos básicos da segurança do trabalho; 0,00: Não.</p> <p>D02) 1,00: As situações perigosas são utilizadas para desenvolver a aprendizagem sobre medidas preventivas de forma a garantir segurança de seus TP e TT; 0,67: As situações perigosas são utilizadas para desenvolver a aprendizagem sobre medidas preventivas de forma a garantir segurança de seus TP; 0,33: Inspeção e auditoria do MPT detectaram situações de risco, falha e falta de ações nos controles de segurança; 0,00: Não.</p> <p>D03) 1,00: Sim, para os TP e TT, além disso, existe cronograma para os treinamentos; 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, para os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D04) 1,00: Sim, o comitê de diretores da empresa demonstra estes valores; 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, para os TP; 0,25: Sim, mas sem ações evidenciadas; 0,00: Não.</p> <p>D05) 1,00: Sim, o comitê de diretores da empresa demonstra as ações; 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, para os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D06) 1,00: Sim, sistemas implantados atendem aos TP e TT, além disso, existe cronograma permanente para as implantações; 0,75: Sim, sistemas implantados atendem aos TP e TT; 0,50: Sim, sistemas implantados atendem aos TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D07) 1,00: Sim, para os TP e TT e programa de ações permanentes; 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, para os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D08) 1,00: Sim, para os TP e TT e cronograma permanente; 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, para os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D09) 1,00: Sim, entre os TP e TT e cronograma permanente; 0,75: Sim, entre os TP e TT; 0,50: Sim, entre os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D10) 1,00: Sim, entre os TP e TT e cronograma permanente; 0,75: Sim, entre os TP e TT; 0,50: Sim, entre os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D11) 1,00: Sim, entre os TP e TT e cronograma permanente; 0,75: Sim, entre os TP e TT; 0,50: Sim, com evidências para os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D12) 1,00: Sim, entre os TP e TT e cronograma permanente; 0,75: Sim, entre os TP e TT; 0,50: Sim, entre os TP; 0,25: Sim, mas sem evidências; 0,00: Não.</p> <p>D13) 1,00: Sim, para os TP e TT e cronograma permanente (distribuição e instrução); 0,75: Sim, para os TP e TT; 0,50: Sim, com evidências para os TP; 0,25: Inspeção e auditoria do MPT detectaram falha e falta de EPI e Equipamento de Proteção Coletiva (EPC); 0,00: Não.</p> <p>D14) Histórico de acidentes fatais: 1,00: Não ocorreu acidente de trabalho fatal nos últimos três anos; 0,50: Taxa de Mortalidade foi reduzida 50% em relação aos anos de 2010-2013; 0,00: Taxa de Mortalidade não foi reduzida 50% em relação aos anos de 2010-2013.</p>

Fonte: adaptado de Silva (2017)

REFERÊNCIAS

- BATRA, PE; IOANNIDES, MG. Electric accidents in the production, transmission, and distribution of electric energy: a review of the literature. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, 7 (3): 285-307. 2001.
- BURGHERR, P; ECKLE, P; HIRSCHBERG, S. Comparative assessment of severe accident risks in the coal, oil and natural gas chains. **Reliability Engineering and System Safety**, 105: 97-103. 2012.
- CAMPBELL, RB; DINI, DA. **Occupational Injuries from Electrical Shock and Arc Flash Events**. Massachusetts: Fire Protection Research Foundation. 2015.
- CHOUDHRY, RM; FANG, D; MOHAMED, S. The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. **Safety Science**, 45: 993-1012. 2007.
- CORREA, PR; ASSUNÇÃO, A. A subnotificação de mortes por acidentes de trabalho: estudo de três bancos de dados. **Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 12 (4): 203-212. 2003.
- EDWARDS, JR; DAVEY, J; ARMSTRONG, K. Returning to roots of culture: a review and re-conceptualization of safety culture. **Safety Science**, 55: 70-80. 2013.
- FENG, Y; LING, FYY; TEO, EA; LOW, SP. Exploring the interactive effects of safety investments, safety culture and project hazard on safety performance: an empirical analysis. **International Journal of Project Management**, 32: 932-943. 2014.
- FUNDAÇÃO COMITÊ DE GESTÃO EMPRESARIAL. Relatório de estatísticas de acidentes no setor elétrico brasileiro – 2013. **FUNCOGE**. Disponível em: <<http://www.funcoge.org.br>>. Acesso: 02/02/2014.
- FUNDAÇÃO COMITÊ DE GESTÃO EMPRESARIAL. Relatório de estatísticas de acidentes no setor elétrico brasileiro – 2012. **FUNCOGE**. Disponível em: <<http://www.funcoge.org.br>>. Acesso: 02/02/2014.
- GARCÍA-HERRERO, S; MARISCAL, MA; GUTIÉRREZ, JM; TOCA-OTERO, A. Bayesian network analysis of safety culture and organizational culture in a nuclear power plant. **Safety Science**, 53: 82-95. 2013.
- GULDENMUND, FW. The nature of safety culture: a review of theory and research. **Safety Science**, 34 (1-3): 215-257. 2000.
- HAMALAINEN, P. The effect globalization on occupational accidents. **Safety Science**, 47: 733-742. 2009.
- HIRSCHBERG, S; SPIEKERMAN, G; DONES, R. **Severe accidents in the energy sector**. Villigen: Suíça: Paul Scherrer Institut. 1998.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Self-assessment of safety culture in nuclear installations**: highlights and good practices. Vienna: IAEA. 2002.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATIONAL (ILO). **Recording and notification accidents and diseases**. Geneva: ILO, 1996.

KADIE, CM; HOVEL, D; HORVITZ, E. MSBNx: A component-centric toolkit for modeling and inference with Bayesian networks. Technical Report MSR-TR-2001-67. MSBNx version 1.4.2.

KIM, YG; LEE, SM; SEONG, PH. A methodology for a quantitative assessment of safety culture in NPPs based on Bayesian networks. **Annals of Nuclear Energy**, 102: 23-36. 2017.

MORROW, SL; KOVES, GK; BARNES, VE. Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. **Safety Science**, 69: 37-47. 2014.

NIELSEN, KJ. Improving safety culture through the health and safety organization: a case study. **Journal of Safety Research**, 48: 7-17. 2014.

POURRET, O; NAIM, P; MARCOT, B. **Bayesian networks**: a practical guide to applications. Chichester, GBR: Wiley. 2008.

SANTANA, VS; ARAÚJO-FILHO, JB; OLIVEIRA, PRA; BARBOSA-BRANCO, A. Acidentes de trabalho: custos previdenciários e dias perdidos. **Revista de Saúde Pública**, 40 (6): 1004-1012. 2006.

SILVA, LGG. **Contribuição para a supressão dos acidentes de trabalho fatais nas etapas da cadeia produtiva de energia elétrica**. 2017. 221f. Tese (Doutorado em Energia). Universidade Federal do ABC. Santo André. 2017.

SILVA, LGG. **A educação e a segurança do trabalho em eletricidade frente à Norma Regulamentadora NR10**. 2009. 307f. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Metodista de São Paulo. São Bernardo do Campo. 2009.

SILVA, LGG; MOREIRA, JML. Avaliação das estatísticas sobre acidentes de trabalho no setor energético brasileiro (período 2005-2012). **Anais do IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Florianópolis. 2014.

SMITH, KR; FRUMKIN, H; BALAKRISHNAN, K; BUTLER, CD. Energy and human health. **Annual Review of Public Health**, 34: 159-188. 2013.

SPADA, M; BURGHER, P. Comparative risk assessment for fossil energy chains using Bayesian model averaging. **Energies**, 13(295): 1-21. 2020.

STRAUCH, B. Can we examine safety culture in accident investigations, or should we? **Safety Science**, 77: 102-111. 2015.

VINODKUMAR, MN; BHASI, M. Safety climate factors and its relationship with accidents and personal attributes in the chemical industry. **Safety Science**, 47: 656-667. 2009.

Recebido: 24/11/2020

Aprovado: 25/08/2021

DOI: 10.3895/rts.v17n49.13498

Como citar: SILVA, L. G. G. da; MOREIRA, J. M. L. Modelo de rede Bayesiana para inferir cultura de segurança em empresas na etapa de distribuição de energia elétrica. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 17, n. 49, p. 286-304, out./dez. 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/13498>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

