

# ACIDENTE COM NITRATO DE AMÔNIO FERTILIZANTE EM SÃO FRANCISCO DO SUL: UM ESTUDO SOB O ENFOQUE PREVENTIVO

Oscar Washington Barboza Junior<sup>1</sup>

Vanderlei Vanderlino Vidal<sup>2</sup>

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar as normas de segurança, foi realizada no presente artigo uma análise do incidente químico envolvendo a decomposição térmica de fertilizante baseado em nitrato de amônio ocorrido na cidade de São Francisco do Sul – SC, em 2013. Para tal, realizou-se uma revisão sistemática da literatura sobre os fatores de risco do nitrato de amônio, buscando atualizar as informações sobre os fenômenos ligados ao uso desta substância que influenciam a segurança dos processos de produção, manuseio e armazenamento, principalmente quando no estado sólido. Através da revisão de normas de segurança, tanto nacionais quanto estrangeiras, obteve-se uma breve análise da compatibilidade destas com os riscos oferecidos pelo  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Considerando estas avaliações, verificou-se que o aprendizado com os acidentes passados servem para a construção ou modificação da cultura preventiva. A falta de uma norma de segurança regulamentadora em Santa Catarina pode contribuir para futuros acidentes industriais envolvendo substâncias perigosas. Verificou-se também que a NFPA 400, aliada a guias técnicos da EFMA, ou da ANDA no Brasil, fornece uma base congruente para a construção de uma norma catarinense ou brasileira aplicada ao uso do nitrato de amônio.

**Palavras-chave:** Nitrato de amônio fertilizante. Decomposição autossustentável. Produtos perigosos. Acidente em São Francisco do Sul.

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação de eventos passados constitui uma importante etapa para a compreensão de mecanismos que levam a acidentes envolvendo substâncias perigosas. O conhecimento advindo destas avaliações, associado a descobertas científicas relacionadas à área de acidentes com produtos perigosos, contribui para a mitigação dos danos à vida, à propriedade e ao meio ambiente.

O nitrato de amônio (NA) esteve envolvido em inúmeros acidentes ao longo da história, causando grande prejuízo econômico e milhares de fatalidades (PITMANN et al., 2014). No ano de 2013, na cidade de São Francisco do Sul, estado de Santa Catarina, outro evento associado ao NA causou repercussão nacional e internacional, mobilizou inúmeras instituições e criou significativos gastos aos cofres públicos, além do impacto ambiental.

1 1º Tenente Bombeiro Militar. Perito em Incêndio e Explosão. Bacharel em Química pela UEL. Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade Dom Bosco. E-mail: oscarw@cbm.sc.gov.br

2 Tenente Coronel Bombeiro Militar. Perito em Incêndio e Explosão. Graduado no Curso de Formação de Oficiais pela Polícia Militar de Santa Catarina em 1991. Bacharel em Administração pela UFSC. Pós-graduado em Gestão de Serviços de Bombeiro pela ESAG-UDESC. E-mail: vanderlino@cbm.sc.gov.br

Incidentes envolvendo NA, tanto acidentais quanto deliberados, ocorrem e continuarão ocorrendo a não ser que sejam adotadas práticas de melhoria preventiva e de segurança nos locais e instalações que armazenam, processam ou manipulam nitrato de amônio por todo o mundo (PITMANN et al., 2014). Após um evento recente, avaliar as causas e consequências consiste em um princípio fundamental para a segurança, uma vez que fomenta a revisão de normas, padrões e procedimentos.

O presente trabalho pretende avaliar o incidente em São Francisco do Sul apresentando os principais fenômenos envolvidos no risco do nitrato de amônio, realizando o estudo das normas de segurança que estabelecem requisitos específicos ao armazenamento, produção ou manipulação desta substância, bem como avaliando o impacto que essas normas teriam caso estivessem estabelecidas em Santa Catarina.

A abordagem metodológica deste artigo é estabelecida de acordo com a *Research Onion*, de Saunders, Lewis e Thornhill (2003), como uma pesquisa de lógica dedutiva, partindo das disposições e aprendizados gerais para o caso de São Francisco do Sul. Possui abordagem qualitativa, com objetivo explicativo, valendo-se prioritariamente da revisão bibliográfica para posterior aplicação ao estudo de caso. O horizonte definido é o longitudinal.

Este artigo está organizado em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda seção é destinada aos acidentes envolvendo nitrato de amônio, com subseção sobre o acidente em São Francisco do Sul. A terceira seção apresenta uma revisão bibliográfica dos potenciais de risco inerentes ao NA. Na quarta seção são apresentadas as normas de segurança existentes para o armazenamento, produção ou manuseio do NA, na busca por relacionar pontos das normatizações com o evento ocorrido no município catarinense. As conclusões deste trabalho são apresentadas na quinta seção.

## **2 ACIDENTES ENVOLVENDO NITRATO DE AMÔNIO (NA)**

Khan e Abbasi (1999), em uma análise de causas e consequências dos principais acidentes envolvidos com processos industriais, explicam que os principais riscos com os quais a indústria química está associada são o incêndio, a explosão e a liberação tóxica, sendo que destes três, o fogo é o mais comum. A explosão é a mais significativa no que se refere ao potencial de danos, visto que muitas vezes leva a mortes e severos estragos a propriedades; porém, a liberação tóxica talvez seja a que possui o maior potencial para matar um grande número de pessoas. De acordo com os autores, a frequência anual de acidentes tem diminuído no decorrer do tempo, mas a extensão dos danos tem aumentado substancialmente. Em complemento, ao analisar os danos resultantes de acidentes, os autores verificaram que o número de mortes é maior em acidentes que envolvem explosões, sendo

que a maioria deles é ocasionada pelo mau funcionamento de um componente de algum equipamento, ou pela negligência de pessoal durante a operação ou manutenção dos sistemas.

Um estudo mais aprofundado e específico sobre os acidentes envolvendo nitrato de amônio foi realizado por Pitmann et al. (2014). De acordo com os autores, os acidentes mais significativos com nitrato de amônio, em termos de fatalidades, ocorreram em Oppau (Alemanha, 1921) com 561 vítimas fatais; Texas City (Estados Unidos da América – EUA, 1947) com mais de 500 mortes; Toulouse (França, 2001) onde houve 30 pessoas mortas; Mihailesti (Romênia, 2004) com 20 fatalidades; Ryongchon (Coreia, 2004) com estimativa de 160 mortes; Manclova (México, 2007) com 28 fatalidades; e West (EUA, 2013) com 15 vítimas fatais. As principais causas de explosão nestes incidentes envolvem um incêndio que fornece as condições para explosão, ou uma detonação com uso de outro explosivo junto ao NA (PITMANN et al., 2014).

Os incêndios envolvendo NA são imprevisíveis. No incidente em Bryan, Texas, por exemplo, o fogo envolvendo nitrato de amônio queimou durante horas sem a ocorrência de explosão, enquanto que no incêndio em West, também no Texas, as explosões ocorreram logo no início do incêndio, após aproximadamente 20 minutos (PITMANN et al., 2014).

A grande maioria dos acidentes com NA ocorre com esta substância no estado sólido, mas alguns acidentes envolvem soluções ou emulsões de nitrato de amônio, sendo que a literatura apresenta alguns estudos sobre estes eventos (ETTOUNEY; EL-RIFAI, 2012).

No evento em Toulouse, os danos foram estimados em aproximadamente 1,5 bilhão de euros, além das 30 vítimas fatais e mais 2.242 feridos. O acidente ocorreu em um armazém e as investigações realizadas estimam que havia aproximadamente de 390 a 450 toneladas de nitrato de amônio sem especificação do teor de pureza. A explosão criou uma cratera de 7 metros de profundidade por cerca de 65 metros de diâmetro, o equivalente a uma detonação de 20 a 40 toneladas de trinitrotolueno (TNT). As causas do acidente em Toulouse ainda são controversas, mas a hipótese mais aceita é que não houve um incêndio inicial, nem tampouco uma primeira detonação para causar a ignição ao nitrato de amônio, e sim a decomposição do NA na presença de agentes contaminantes como os cloretos (DECHY et al., 2004).

Após a análise dos casos de acidentes envolvendo NA, Pitmann et al. (2014) elencaram um conjunto de lições, as quais devem ser consideradas em eventos envolvendo NA. Destacam-se:

- a importância da disponibilidade de grandes volumes de água para o combate a incêndios envolvendo NA – pequenos volumes propiciam a vaporização da água. Este vapor pode aumentar o risco de explosão em locais confinados conforme a temperatura desse ambiente aumenta;
- melhoria do planejamento e zoneamento dos locais onde serão implantadas atividades

ligadas ao NA;

- melhoria na comunicação com os órgãos ou autoridades de resposta a emergências;
- cuidados para evitar contaminantes e o fenômeno de *caking*;
- implementação de medidas para melhoria da segurança com o aprendizado de eventos passados.

## 2.1 O ACIDENTE DE SÃO FRANCISCO DO SUL

O incidente na cidade de São Francisco do Sul teve início no dia 24 de setembro de 2013. No atendimento à emergência foram empregados aproximadamente 200 bombeiros, além de profissionais de outros órgãos e instituições. O acidente ocorreu em um galpão de armazenamento, com aproximadamente 4.500 m<sup>2</sup> e 7,5 m de altura, da empresa Global Logística que se situava na periferia da cidade (GAZETA DO POVO, 2013; SANTA CATARINA, 2014). A Figura 1 apresenta a vista aérea dos galpões da empresa em questão.

FIGURA 1 – Vista aérea da empresa Global Logística – São Francisco do Sul, SC



Fonte: Global Logística.<sup>3</sup>

No galpão de alvenaria as aberturas de ventilação consistiam em quatro portas divididas em três laterais da edificação. Além disso, não possuía nenhuma ventilação vertical, sendo que o telhado era composto de estrutura metálica e telhas de fibrocimento. De acordo com a perícia, na estrutura estavam armazenadas aproximadamente 10 mil toneladas de fertilizante inorgânico composto do tipo NK, uma vez que não foi detectada a presença de fosfatos na análise do material. Classificado no Brasil como um fertilizante do tipo B, o material possuía aproximadamente 60% de NA em sua composição, apresentando ainda outros aditivos, entre eles cloreto de potássio. A Figura 2 mostra um croqui do galpão indicando a área utilizada para o armazenamento do fertilizante. O

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.globalterminal.com.br/>>. Acesso em 13 nov. 2015.

foco da reação ocorreu no canto superior direito da imagem (ANDA, 2012; CBMSC; IGP, 2013).

FIGURA 2 – Croqui do galpão de armazenamento da empresa Global Logística



Fonte: CBMSC; IGP, 2013.

O evento perdurou por quase 60 horas, até a manhã do dia 27 de setembro, quando a reação de decomposição foi controlada. Uma grande nuvem de gases (Figura 3) gerados pela reação de decomposição autossustentável causou repercussão nacional e internacional. Do incidente, nenhuma fatalidade foi registrada, mas cerca de 160 pessoas foram hospitalizadas por problemas respiratórios. Uma parte da água resultante do combate permeou o solo, mas grande parte foi contida em piscinas construídas de forma emergencial, para posterior tratamento do resíduo (A NOTÍCIA, 2015; ANUNCIAÇÃO, 2013; CBMSC; IGP, 2013; SANTA CATARINA, 2014).

FIGURA 3 – Nuvem de gases da decomposição do NA



Fonte: Brasil 247.<sup>4</sup>

A empresa não possuía liberação para funcionamento expedida pelo Corpo de Bombeiros Militar, mas possuía registro junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no qual era credenciada desde 2011 para armazenamento de fertilizantes (CBMSC; IGP, 2013; CIDASC, 2013; MIRA, 2013).

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://www.brasil247.com/pt/247/sc247/126922/Conclu%C3%Ado-relat%C3%B3rio-sobre-inc%C3%A2ndio-em-armaz%C3%A9m-de-SC.htm>>. Acesso em 12 nov. 2015.

O laudo pericial foi inconclusivo sobre a real causa do acidente em São Francisco do Sul. As equipes de investigação sugeriram três hipóteses, sendo que em todas a reação teria ocorrido por ação de um aditivo ou contaminante somado aos fatores ambientais do local de armazenamento. O pico de temperatura registrado foi de 265 °C na área do foco da reação (CBMSC; IGP, 2013).

### 3 FATORES DE RISCO DO NITRATO DE AMÔNIO

O nitrato de amônio é um forte oxidante utilizado na obtenção do óxido nitroso, na fabricação de explosivos como o ANFO (*ammonium nitrate / fuel oil*) – formado com óleos combustíveis – e o Amonal – em misturas com substâncias inorgânicas como o alumínio em pó. Além destes usos, o nitrato de amônio é amplamente utilizado como fonte de nitrogênio para aplicação na agricultura, servindo de matéria-prima para muitos fertilizantes inorgânicos (DUNUWILLE; YOO, 2013; PITMANN et al., 2014). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o NA pode ser classificado em três classes de risco, dependendo de suas características e composição (ONU, 2011):

- Classe 1.1 – o nitrato de amônio com mais de 0,2% de substâncias combustíveis é classificado como explosivo;
- Classe 5.1 – o nitrato de amônio com teor inferior a 0,2% de substâncias combustíveis ou o nitrato de amônio fertilizante, classificado como oxidante;
- Classe 9 – nitrato de amônio fertilizante, classificado como não oxidante, e que apresenta perigos diversos.

No Brasil, a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) classifica o NA nas categorias A, B e C, sendo o tipo A subdividido em (ANDA, 2012):

[...] **A1** – Compostos de nitrato de amônio com adição de substâncias inorgânicas e/ou quimicamente inertes:

- Mais de 90% de nitrato de amônio e menos de 0,2% de material combustível total (incluindo matéria orgânica calculada como carbono).

- Ou mais de 70% porém menos de 90% de nitrato de amônio e menos de 0,4% de substância inflamável total (ambos estão compreendidos no Número 2067 das Nações Unidas).

**A2** – Compostos de nitrato de amônio com carbonato de cálcio e/ou dolomita com mais de 80% porém menos de 90% de nitrato de amônio e menos de 0,4% de material combustível total (compreendidos no Número 2068 das Nações Unidas).

**A3** – Compostos de nitrato de amônio/sulfato de amônio com mais de 45% porém menos de 70% de nitrato de amônio e menos de 0,4% de material combustível total (compreendidos no Número 2069 das Nações Unidas).

**A4** – Compostos contendo nitrogênio/fosfato ou nitrogênio/potássio ou fertilizantes completos contendo nitrogênio/fosfato/potássio, com mais de 70% porém menos de 90% de nitrato de amônio e menos de 0,4% de material combustível total (compreendidos no Número 2070 das Nações Unidas).

Além destas quatro subclasses de fertilizantes tipo A, as classes tipo B e C são definidas como (ANDA, 2012):

[...] **Tipo B:** [...] incluem misturas não-segregadas contendo nitrogênio (nitrato)/fosfato ou nitrogênio (nitrato)/potássio ou fertilizantes completos contendo nitrogênio (nitrato)/fosfato/potássio com menos de 70% de nitrato de amônio e menos de 0,4% de material combustível adicional total, ou com menos de 45% de nitrato de amônio com material combustível ilimitado (cobertos pelo Número 2071 das Nações Unidas).

[...] **Tipo C:** [...] Compostos de nitrato de amônio com carbonato de cálcio e/ou dolomita, contendo não mais de 80% de nitrato de amônio e não mais de 0,4% de material combustível total.

- Compostos de nitrato de amônio/sulfato de amônio contendo não mais de 45% de nitrato de amônio e não mais de 0,4% de material combustível total.

- Fertilizantes de acordo com a composição do Tipo B e os quais não apresentam a propriedade de sustentar autodecomposição (compreendidos no Número 2071 das Nações Unidas).

Dependendo da utilização, o NA pode ser encontrado sob diferentes especificações. A solução de NA (*liquor*) pode fornecer nitrato de amônio em pó e em grãos de alta ou baixa densidades. O nitrato de amônio em pó é usado na fabricação de explosivos, emulsões e géis. Os grãos (*prills*) de alta densidade são utilizados na agricultura, e os menos densos e de maior porosidade alimentam os usuários de ANFO. No entanto, diversos produtores de emulsões dissolvem NA de alta densidade em uma solução saturada, e diversas mineradoras utilizam esse tipo de nitrato de amônio para o ANFO, já que o NA tipo agrícola tem custo menor que o de uso industrial (MUNERETTI, 2002).

O  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  possui diversas características físico-químicas que o tornam uma substância complexa, amplamente estudada. Os principais riscos associados ao NA são o de explosão, o incêndio e a decomposição autossustentada. Alguns fatores são cruciais para a estabilidade do composto, influenciando os seus riscos de autodecomposição e de explosão, como: a ciclagem térmica, o fenômeno de *caking*, a presença de agentes catalisadores e a taxa de fluxo de calor (HADDEN; JERVIS; REIN, 2008; HAN et al., 2015; KIISKI, 2009; PITMANN et al., 2014; QUARESMA, 2013).

### 3.1 CICLAGEM TÉRMICA E *CAKING*

A ciclagem térmica é um fenômeno que envolve o acréscimo de temperatura e posterior resfriamento, sendo a faixa de temperatura próxima a 32 °C a mais importante. O NA sofre uma transição cristalográfica nesta temperatura, o que causa um aumento de volume. Quando repetidos ciclos são realizados, os grânulos (*prills*) se expandem e podem se transformar em um pó fino. Essa expansão pode causar fissuras nos grânulos, permitindo que o nitrato de amônio absorva umidade, uma vez que a proteção *anti-caking* é, normalmente, uma película que reveste o grão (KIISKI, 2009).

O *caking* é a aglutinação dos grânulos ou partículas de NA que ocorre em virtude da higroscopicidade da substância, formando uma massa sólida que inviabiliza sua utilização como fertilizante e principalmente na fabricação de explosivos. Diversos tratamentos são utilizados para reduzir este efeito, como adição de pó de talco e substâncias hidrofóbicas como óleos (KIISKI, 2009; MUNARETTI, 2002).

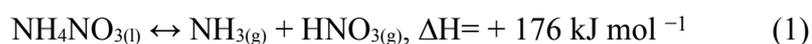
Um dos riscos desta aglutinação se refere às maneiras de destruição dos blocos sólidos formados, as quais muitas vezes foram e ainda são realizadas de modo inseguro, utilizando um explosivo para quebrar estas massas, como no acidente em Oppau, Alemanha. O *caking* também pode atuar, principalmente no armazenamento a granel, impedindo a dissipação de calor. Ao formar uma massa sobre os montes de NA, qualquer reação exotérmica que ocorra sob esta irá acumular calor, aumentando a temperatura e propiciando condições para a ocorrência de uma reação de decomposição autossustentável, como a que ocorreu em São Francisco do Sul em 2013. Outro ponto de interesse a respeito deste fenômeno é a formação de estruturas cristalinas anômalas, as quais tendem a causar a aceleração de reações de oxidação na presença de substâncias ou materiais contaminantes (CBMSC; IGP, 2013; CHATUVERDI; DAVE, 2013; GYENES, 2014; PITMANN et al., 2014).

### 3.2 DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA

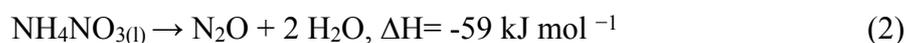
A decomposição térmica do nitrato de amônio tem sido amplamente estudada. Existem registros na literatura de distintos pontos de temperatura, como também diferentes mecanismos da decomposição dessa substância (PITMANN et al., 2014).

Este fenômeno ocorre após a fusão do NA, sendo o ponto de fusão da substância pura de aproximadamente 169 °C. No aquecimento, até a temperatura de fusão, existem duas mudanças físicas endotérmicas, a primeira próximo a 50 °C e a outra a 127 °C, que correspondem a alterações cristalográficas do nitrato de amônio. Alguns autores sugerem que a decomposição do NA ocorre próximo a 200 °C, e outros que a primeira decomposição ocorre em temperaturas menores, próximo a 170 °C, acompanhando a fusão do material (GUNAWAN; ZANG, 2009; HAN et al., 2015; IZATO; MIYAKE, 2015; QUARESMA, 2013).

Apesar das divergências em relação ao início da reação de decomposição, existe consenso na literatura de que a decomposição ocorre com a vaporização do NA fundido, ocorrendo uma dissociação endotérmica reversível com formação de amônia e ácido nítrico, como mostrado na reação (1) (CHATUVERDI; DAVE, 2013; GUNAWAN; ZANG, 2009; HAN et al., 2015; IZATO; MIYAKE, 2015; QUARESMA, 2013):



Em temperaturas entre 170 °C e 280 °C ocorrem também, simultaneamente, reações exotérmicas irreversíveis, conforme as reações (2), (3) e (4) (CHATUVERDI; DAVE, 2013; GUNAWAN; ZANG, 2009; HAN et al., 2015; IZATO; MIYAKE, 2015; QUARESMA, 2013):



Ao ser aquecido de forma repentina, o nitrato de amônio pode sofrer uma decomposição explosiva formando nitrogênio, oxigênio e água, de acordo com a reação (5) (CHATUVERDI; DAVE, 2013; HAN et al., 2015; QUARESMA, 2013):



Uma série de outras reações ocorre, com diferentes mecanismos, quando a decomposição se dá em baixas ou altas temperaturas, além do efeito da taxa de calor fornecido (CHATUVERDI; DAVE, 2013; QUARESMA, 2013).

Quando o NA é submetido a uma explosão primária, a energia fornecida pela explosão pode causar a detonação do  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . A reação que ocorre é descrita em (6) (CHATUVERDI; DAVE, 2013; HAN et al., 2015; QUARESMA, 2013):



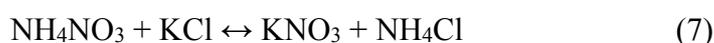
A decomposição térmica do nitrato de amônio pode sofrer, ainda, a interferência de outras substâncias de forma a inibir ou promover a reação. Os inibidores, muitas vezes usados como fertilizantes, melhoram a estabilidade térmica do NA. Sais de sódio, potássio, amônio ou cálcio, e também os sulfatos, fosfatos ou carbonatos, têm sido definidos como inibidores. Determinados sais orgânicos como uréia, oxalatos, formiatos e guanidínios também o são, além dos sais de sódio de ácidos fracos (ácido carbônico, ácido acético, ácido fórmico, ácido oxálico) (CAGNINA et al., 2014; CHATUVERDI; DAVE, 2013; GUNAWAN; ZANG, 2009; HAN et al., 2015).

Por outro lado, os promotores aceleram a taxa de explosão do nitrato de amônio. Entre os promotores pode-se citar a pirita, os ácidos inorgânicos, combustíveis e contaminantes orgânicos (como óleos, algodão, carvão, farinha, açúcar, tecidos naturais, madeira), os ânions cloreto (cloreto

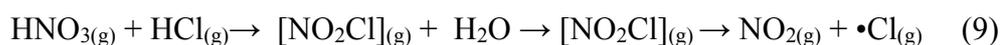
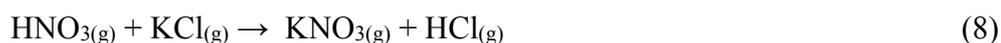
de potássio, cloreto de sódio, etc.), e alguns sais de metais como alumínio, cromo e ferro (nitrato de alumínio, nitrato de cromo, nitrato de ferro) (CAGNINA et al., 2014; CHATUVERDI; DAVE, 2013; GUNAWAN; ZANG, 2009; HAN et al., 2015).

No estudo sobre o efeito de dois aditivos na decomposição do  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , sendo um inibidor (sulfato de sódio) e um promotor (cloreto de potássio), foi verificado que estas substâncias influenciam a temperatura de decomposição do NA e a taxa de autoaquecimento. A temperatura inicial de decomposição do nitrato de amônio puro foi determinada como sendo próxima a 200 °C. Com o inibidor sulfato de sódio a temperatura de início da reação foi de 250 ( $\pm 8$ ) °C, e a máxima taxa de autoaquecimento do nitrato de amônio em mistura com o sulfato de sódio foi de 115 ( $\pm 16$ ) °C.s<sup>-1</sup> a qual ocorreu a uma temperatura de 381 ( $\pm 4$ ) °C. Já com o cloreto de potássio as temperaturas obtidas foram menores em comparação ao nitrato de amônio puro. O KCl induziu a decomposição térmica, cujo início da reação ocorreu com 194 ( $\pm 2$ ) °C, sendo a máxima taxa de autoaquecimento de 332 ( $\pm 35$ ) °C.s<sup>-1</sup>, registrada na temperatura de 301 ( $\pm 2$ ) °C (HAN et al., 2015).

Em fertilizantes contendo NA e KCl pode ser formada uma solução sólida, conforme a reação (7), na qual o nitrato de amônio pode conter uma fração molar de cloreto de amônio de até 12%, dependendo da temperatura e da fase cristalográfica do NA (KIISKI, 2009):



Distintos mecanismos foram propostos para a reação do cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) na decomposição térmica do nitrato de amônio. No entanto, pelos resultados obtidos por Izato e Miyake (2015), não é necessário que exista uma pré-mistura do NA com o cloreto de potássio para a catálise da reação de decomposição. No estudo, o ácido clorídrico foi determinado como o principal agente desestabilizante do NA em ambientes confinados. O ácido nítrico formado pela decomposição do nitrato de amônio reage com o cloreto de potássio formando ácido clorídrico, conforme a reação (8), e este reage com o ácido nítrico formando cloreto de nitrila (8) que se decompõe em dióxido de nitrogênio e cloro radicalar (9):



O cloro radicalar ocasiona uma reação em cadeia, desestabilizando o nitrato de amônio. Estas reações ocorrem em uma temperatura menor do que na decomposição térmica do NA puro. Os cloretos causam a desestabilização do  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  mesmo que não exista uma pré-mistura destes compostos, mas pela simples possibilidade de contato dos gases da decomposição em um ambiente

confinado. Este efeito não foi observado quando o experimento foi realizado em ambientes abertos. Em virtude disso, sugere-se que os locais de armazenamento de NA possuam sistemas de ventilação e arrefecimento. É importante também estudar o efeito não somente de cloretos aditivos ou contaminantes, mas os disponíveis no próprio ambiente, como tubos de PVC, para avaliar o efeito na decomposição do nitrato de amônio (IZATO; MIYAKE, 2015).

#### **4 NORMAS DE SEGURANÇA**

A ocorrência recente de grandes acidentes pode trazer alguns questionamentos, como: as normas de segurança são de difícil aplicação ou se mostram ineficientes? As empresas estão negligentes na observação destas normas? As fiscalizações por parte dos órgãos competentes não estão sendo realizadas de maneira eficaz? O surgimento ou a modificação de normas ocorrem, geralmente, após o estudo de um evento passado, e devem acompanhar os estudos e descobertas científicas.

A ocorrência de grandes eventos industriais nas décadas de 70 e 80, como Seveso em 1976, Bhopal em 1984, e Philips Pasadena em 1989, entre outros, fizeram com que na Europa fosse criada a Diretiva de Seveso, e nos Estados Unidos, a OSHA 1910. União Européia (UE) e EUA diferiram em suas normas ou regulamentos de segurança em muitos aspectos importantes. Uma característica fundamental dos documentos europeus foi uma evidente mudança em prol de regulamentos baseados no desempenho, ao passo que nos EUA houve uma mistura de desempenho como base e regulamentações prescritivas. Embora houvesse muitos aspectos comuns entre ambas as abordagens, os regulamentos europeus tiveram um maior elemento de avaliação do risco, enquanto as normas americanas tiveram uma maior ênfase em sistemas de gestão de segurança do processo (PITBLADO, 2011).

A despeito da aplicação das normas e regulamentos, Pitblado (2011) acredita que houve melhorias referentes às questões de segurança do trabalho. No entanto, o autor afirma que não é clara a situação referente ao gerenciamento de riscos e melhorias na segurança dos processos industriais. Tal afirmação é baseada numa série de grandes acidentes ocorridos recentemente, após o ano 2000, como aquele envolvendo a plataforma P-36 em 2001, no Brasil; em Toulouse (França, 2001); em Chongqing (China, 2003); e em Texas City (EUA, 2005), entre outros.

No Brasil, as normas são predominantemente prescritivas. De maneira simplificada, as normas de segurança, ou preventivas, podem ser classificadas em três tipos: normas de segurança do trabalho; normas de análise e gerenciamento de riscos; e normas preventivas contra incêndio e sinistros. Existe ainda a diferenciação entre normas regulamentadoras e técnicas.

As regulamentadoras possuem obrigatoriedade de cumprimento, como as Normas

Regulamentadoras do Ministério do Trabalho (NR), as Instruções Normativas (IN) ou Instruções Técnicas (IT) dos Corpos de Bombeiros, entre outras. As normas técnicas (NBR), por sua vez, são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade não governamental, mas reconhecida pelo governo, e seu uso é voluntário, não existe obrigatoriedade se não por força de lei que a utilize para regulamentar alguma atividade ou produto (ABNT, 2015; BATAGIN, 2014).

Apesar desta diferenciação, muitas normas regulamentadoras possuem na sua nomenclatura o termo “norma técnica”, o que não interfere em sua aplicabilidade e teor. Existem discussões sobre o assunto, porém não são o foco deste trabalho.

No Brasil, ainda é incipiente a obrigatoriedade da análise e gerenciamento de risco em atividades industriais. No estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabelece critérios para a necessidade de apresentação de um estudo de análise de risco tecnológico, por meio da Norma Técnica CETESB – P4.261. Entre os critérios para classificação quanto a periculosidade das instalações industriais e da atividade desenvolvida são consideradas a periculosidade e quantidade das substâncias, e a vulnerabilidade da região onde a indústria está ou será instalada (CETESB, 2011).

A P4.261 é uma norma de desempenho baseada na avaliação de riscos. Não contém em seu teor requisitos específicos sobre atividades ligadas ao nitrato de amônio, os quais são objetos deste estudo. Desta forma, não será realizada a análise de seu teor em relação ao incidente de São Francisco do Sul.

A Norma Regulamentadora N° 19 do Ministério do Trabalho (BRASIL, 2011) trata da segurança e saúde na indústria e comércio de fogos de artifício e outros artefatos pirotécnicos. No documento, a única menção relacionada ao nitrato de amônio é referente ao distanciamento de ferrovias, rodovias, edifícios habitados e entre depósitos ou oficinas, dependendo da quantidade da substância existente no local. São ainda referendadas exigências quanto ao local de trabalho, plano de prevenção de riscos ambientais e aspectos construtivos da edificação como ventilação, paredes e tetos incombustíveis, piso anti-estático, aterramento, sistemas de combate a incêndio e um ambiente livre de materiais combustíveis. Mesmo considerando alguns aspectos que poderiam ser avaliados, esta norma não faz referência aos fertilizantes à base de nitrato de amônio, como também trabalha com explosivos de maneira geral, sem especificidade ao NA.

O Regulamento para Fiscalização de Produtos Controlados (R-105) do Exército Brasileiro (BRASIL, 2000), assim como a NR-19 (BRASIL, 2011), trata apenas de explosivos. No caso do nitrato de amônio, a aplicabilidade é na mistura como ANFO, que é tratado de forma geral, devendo a indústria ou local de armazenamento atender às mesmas condições para os demais explosivos. Quanto ao NA utilizado na fabricação de ANFO, menciona que ele deve ser armazenado em

separado, observando os afastamentos mínimos.

Por força legal, o MAPA é responsável pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2004). A fiscalização é voltada aos padrões para a produção e comercialização, sem foco na segurança dos processos. O Decreto 8.384 de 29 de dezembro de 2014, que regula a inspeção e fiscalização do MAPA, estabelece (BRASIL, 2014):

[...] Art. 47. O armazenamento de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas observará as normas nacionais vigentes, as instruções fornecidas pelo fabricante ou importador e as condições de segurança explicitadas no rótulo e se submeterá às regras e aos procedimentos estabelecidos para o armazenamento de produtos perigosos, constantes de legislação específica. [...]

Em Santa Catarina, por força constitucional, a competência para estabelecer normas relativas à segurança de pessoas e bens envolvendo produtos perigosos é do Corpo de Bombeiros Militar (CBMSC) (SANTA CATRINA, 2003). No entanto, não há nenhuma norma estadual que estabeleça critérios e exigências relacionadas ao NA.

As Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo (CBPMSP) são muitas vezes utilizadas em corporações de bombeiros de outros estados da federação, ou servem como base para a elaboração de norma específica para outro estado. A IT nº 32, que trata de produtos perigosos em edificações e áreas de risco e o manuseio de produtos perigosos, aborda também de maneira geral qualquer substância classificada como produto perigoso conforme a Organização das Nações Unidas. A norma não traz especificidades para substâncias determinadas, que possuem características de risco próprias, como é o caso do nitrato de amônio. A única diferenciação na IT-32 entre substâncias consiste em um subitem que aborda gases com potencial de toxicidade e corrosibilidade (CBPMSP, 2011; ONU, 2011).

A Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros de São Paulo estabelece alguns critérios para as edificações, como a existência de guaritas ou centrais de monitoramento, área para controle e contenção de vazamentos em veículos de transporte, além de exigências em relação ao treinamento de pessoal, equipamentos de proteção individual e plano de emergência (CBPMSP, 2011). A IT-32 não estabelece critérios de aplicabilidade em função da quantidade de substância, também não traz especificidade de requisitos de segurança para substâncias ou classes de risco específicas. Entretanto, apesar de ser pouco detalhada ela é uma das poucas normas de segurança que abordam o assunto no Brasil.

Não existe uma Norma Técnica Brasileira (NBR) da ABNT que estabeleça as exigências mínimas para produção, transporte, armazenamento e manipulação de NA, assim como não há uma norma internacional específica. A Agência Nacional para Difusão de Adubos desenvolveu um guia

técnico com informações sobre armazenagem, transporte e manuseio de nitrato de amônio fertilizante (ANDA, 2012). No entanto, este guia não possui caráter de normatização, podendo ser ou não utilizado pelas empresas do ramo. Na Europa, as normas baseiam-se na Diretiva de Seveso III, enquanto nos EUA as normas da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), do *Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives* (ATF) e da *Environmental Protection Agency* (EPA) possuem similaridades ou referenciam as normas da *National Fire Protection Association* (NFPA). Em razão da inexistência de uma norma brasileira específica, e considerando uma maior similaridade entre as normas NBR e as Normas de Bombeiros no Brasil com as normas NFPA, esta última será maior detalhada e avaliada nesse estudo, em alguns pontos considerados importantes em virtude das características do NA e do acidente no depósito em São Francisco do Sul.

#### 4.1 NORMA NFPA E NITRATO DE AMÔNIO

A *National Fire Protection Association* possuía uma norma exclusiva para aplicação ao nitrato de amônio, a NFPA 490, cuja última atualização foi em 2002. Desde 2009, o teor constante da NFPA 490 foi incorporado à NFPA 400, denominada Código de Produtos Perigosos (NFPA, 2009).

A NFPA 400 fornece requisitos para o armazenamento, produção e manuseio de nitrato de amônio de duas formas. Na parte geral, juntamente com as demais substâncias classificadas como produtos perigosos, quando a quantidade de NA presente for superior a 454 kg (1.000 lb) e inferior ao limite definido pela norma. Quando a quantidade de NA ultrapassar o limite de quantidade máxima, aplicam-se as exigências exclusivas ao  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . No caso de fertilizantes, a norma aplica-se aos fertilizantes com teor de NA igual ou superior a 60%. Como o nitrato de amônio fertilizante pode possuir diversos teores de pureza por causa de diferentes misturas, para definição da quantidade máxima é necessário classificá-lo quanto ao seu grau oxidante. A norma trata não apenas do NA sólido, mas também considera soluções e emulsões (NFPA, 2013).

Já alguns guias técnicos europeus e o guia técnico da ANDA utilizam o *Trough Test* para a classificação do fertilizante. Se o resultado for negativo no ensaio, ele será classificado como tipo C, não mantendo uma reação de autodecomposição (ANDA, 2012; EFMA, 2007).

A NFPA estabelece alguns critérios construtivos dentre os quais a impossibilidade de dutos ou tubulações nas quais o nitrato fundido possa ser confinado. A edificação também necessita de sistema de controle (exaustão) de fumaça ou gases, que pode ser natural ou mecânico (NFPA, 2013). No caso de São Francisco do Sul, a edificação não possuía área de ventilação para exaustão dos gases da decomposição autossustentável, possibilitando o acúmulo de gases no ambiente confinado e favorecendo as reações de decomposição catalítica do NA.

Outro aspecto importante a relacionar com a ciclagem térmica do nitrato de amônio é o controle da temperatura. A norma americana estabelece que recipientes contendo NA com temperatura acima de 54 °C não podem ir para armazenamento. Devem ser resfriados abaixo desta temperatura para então serem armazenados. A norma também prevê que materiais que podem sofrer decomposição térmica perigosa devem ser acondicionados em locais providos de controle de temperatura. E que substâncias que se decompõem sob a temperatura ambiente deverão ser acondicionadas em locais refrigerados que mantenham a temperatura dentro de uma faixa segura (NFPA, 2013).

Difícilmente o NA irá se decompor em temperatura ambiente, mas pode sofrer uma decomposição térmica que apresenta riscos, principalmente quando em misturas contendo aditivos desestabilizantes. Os ciclos de transição a 32 °C devem ser minimizados, visando manter a integridade dos *prills*, evitando o *caking*. Desta forma, a exigência deste sistema em alguns casos é necessária.

Em locais de armazenamento com quantidade superior a 2.268 toneladas (2.500 toneladas curtas) exige-se sistema de proteção por *sprinklers*. Em um incêndio é importante manter a massa de NA sob refrigeração e o fogo deve ser rapidamente extinto, por isso grandes volumes de água devem ser aplicados rapidamente (NFPA, 2013). O galpão da Global Logística não possuía sistema de *sprinklers*, não exigido pelas Normas de Santa Catarina, mas também não possuía sistema hidráulico preventivo, não havendo nenhuma reserva de água no local (CBMSC; IGP, 2013).

O NA armazenado na Global Logística ocupava 65% da área do galpão, e estava delimitado por algum material argiloso e cargas de sal (CBMSC; IGP, 2013). Estas observações presentes no laudo investigativo demonstram que não houve nenhuma preocupação quanto ao armazenamento do NA, uma vez que existiam outras substâncias, possíveis contaminantes, em contato direto com o nitrato de amônio. Na NFPA 400 este assunto é tratado de forma a evitar contato com contaminantes e as barreiras físicas necessárias (NFPA, 2013).

Outros aspectos exigidos pela NFPA, bem como pelo CBMSC, e que encontravam-se irregulares na edificação, foram o sistema de proteção contra descargas atmosféricas e os sistemas de alarme e detecção (CBMSC; IGP, 2013; NFPA, 2013).

## 5 CONCLUSÕES

A compreensão dos mecanismos de decomposição do NA está em constante evolução, sendo fundamental a realização de pesquisas, as quais devem aprimorar conceitos e rever condutas para a segurança na utilização desta substância.

O evento em São Francisco do Sul deve ser lembrado e utilizado como um exemplo da necessidade de implantação de medidas de segurança no país. A temperatura do foco da reação, 265

°C, atingiu um limite crítico e, caso as ações de combate não fossem bem sucedidas, o quadro poderia ter evoluído em pouco tempo para o aumento significativo da reação, podendo ser acompanhado de uma provável explosão, como o ocorrido em Toulouse, França, 12 anos antes.

Mesmo o local de armazenamento da empresa Global Logística não contendo os dispositivos mínimos de segurança conforme as normas locais, ele encontrava-se regular perante o Ministério da Agricultura para realizar as atividades envolvendo fertilizantes. Isto, pois, devido à inexistência de lei ou norma específica que estabeleça critérios desde a implementação da planta química ou local de armazenamento, seguidos de um estudo de análise de riscos, até medidas prescritivas contendo exigências de sistemas de segurança específicos para os perigos admitidos para aquela edificação ou área de risco.

Considerando os aspectos abordados neste trabalho, foi observado que a NFPA 400 fornece requisitos fundamentais para os principais riscos inerentes ao NA. As informações contidas nesta norma, aliadas a alguns conceitos e classificações do guia técnico da ANDA (sendo que este é baseado em guias da EFMA), poderiam perfeitamente oferecer uma base para a construção de uma norma estadual catarinense, ou Norma Brasileira (NBR).

A inexistência de uma norma de segurança, bem como de uma fiscalização eficiente, podem contribuir para futuros acidentes industriais envolvendo não apenas nitrato de amônio, como também outras substâncias classificadas como produtos perigosos.

## REFERÊNCIAS

A NOTÍCIA. **Incêndio químico que encobriu São Francisco do Sul por fumaça completa dois anos nesta quinta-feira**. 24 setembro 2015. Disponível em:

<<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2015/09/incendio-quimico-que-encobriu-sao-francisco-do-sul-por-fumaca-completa-dois-anos-nesta-quinta-feira-4855189.html>>. Acesso em 13 nov. 2015.

ANUNCIAÇÃO, C. 'Fogo está extinto', afirma comandante do Corpo de Bombeiros. **G1-SC**. 27 setembro 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2013/09/o-fogo-esta-extinto-afirma-comandante-do-corpo-de-bombeiros.html>>. Acesso em 13 nov. 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Definição**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>>. Acesso em 14 nov. 2015.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Guia técnico para armazenagem, manuseio e transporte seguro do nitrato de amônio fertilizante**. Brasil. 2012.

BATAGIN, I. L. S. Norma não é lei, mas por força da lei é obrigatória. **Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina – CREA/SC**. 26 setembro 2014. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-Detalhe&id=3077#.VkuCd5fQQjN>>. Acesso em 14 nov. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho. **Portaria SIT n.º 228, de 24 de maio de 2011**: Norma Regulamentadora nº 19 – Explosivos. 2011.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000**. Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105).

CAGNINA, S. et al. Modeling Chemical Incompatibility: Ammonium Nitrate and Sodium Salt of Dichloroisocyanuric Acid as a Case Study. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 36, p.13920-13927, 2014.

CHATUVERDI, S.; DAVE, P. N. Review on thermal decomposition of ammonium nitrate. **Journal of Energetic Materials**, v. 31, p.1-26, 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma P4.261**: Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência. ed. 2., 140 f. São Paulo, 2011.

CIDASC – COMPANHIA INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA. **Mapa coloca estrutura à disposição para auxiliar catarinenses**. 30 setembro 2013. Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/blog/2013/09/30/mapa-coloca-estrutura-a-disposicao>>

para-auxiliar-catarinenses/>. Acesso em 16 out. 2015.

CBMSC – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA; IGP – INSTITUTO GERAL DE PERÍCIAS. **Laudo pericial nº 9110.13.00662**. 2013.

CBPMSP – CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº 32/2011**: Produtos perigosos em edificações e áreas de risco no manuseio de produtos perigosos. 2011.

DECHY, N., et al. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. **Journal of Hazardous Materials**, n. 111, p.131-138, 2004.

DUNUWILLE, M.; YOO, C. Phase diagram of ammonium nitrate. **The Journal of Chemical Physics**, v. 139, n. 214503, p. 1-11, 2013.

ETTOUNEY, R. S.; EL-RIFAI, M. A. Explosion of ammonium nitrate solutions, two case studies. **Process Safety and Environmental Protection**, n. 90, p.1-7, 2012.

EFMA – EUROPEAN FERTILIZER MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Guidance for the Storage, Handling and Transportation of Solid Mineral Fertilizers**. Brussels, Belgium, 2007.

GAZETA DO POVO. **Incêndio químico em SC é controlado após 60 horas, diz Corpo de Bombeiros**. 27 setembro 2013. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/incendio-quimico-em-sc-e-controlado-apos-60-horas-diz-corpo-de-bombeiros-crilury303dj7vy957fftr9se>>. Acesso em 13 de nov. 2015.

GUNAWAN, R.; ZHANG, D. Thermal stability and kinetics of decomposition of ammonium nitrate in the presence of pyrite. **Journal of Hazardous Materials**, n. 165, p.751-758, 2009.

GYENES, Z. Lessons Learned Bulletin No. 5 on major accidents involving fertilizers. **Mahbulletin**. 2014. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/Zsuzsanna\\_Gyenes/publication/264894492\\_Lessons\\_Learned\\_Bulletin\\_No\\_5\\_on\\_mjaor\\_accidents\\_involving\\_fertilizers/links/53f48cca0cf2fceacc6e8c01.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Zsuzsanna_Gyenes/publication/264894492_Lessons_Learned_Bulletin_No_5_on_mjaor_accidents_involving_fertilizers/links/53f48cca0cf2fceacc6e8c01.pdf)>. Acesso em 12 nov. 2015.

HADDEN, R.; JERVIS, F. X.; REIN, G. Investigation of the fertilizer fire aboard the Ostedijk. **Fire Safety Science** – Proceedings of the Ninth International Symposium, p. 1091-1102, UK, 2008.

HAN, Z. et al. Ammonium nitrate thermal decomposition with additives. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, n. 35, p. 307-315, 2015.

IZATO, Y.; MIYAKE, A. Thermal decomposition mechanism of ammonium nitrate and potassium chloride mixtures. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 121, p. 287-294, 2015.

KHAN, F. I., ABBASI, S. A. Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, n. 12, p. 361–378, 1999.

KIISKI, H. **Properties of ammonium nitrate based fertilisers**. 2009. 256 f. Tese (Doutorado em Química) – Faculdade de Ciência, Universidade de Helsinki, Helsinki, Finlândia.

MIRA, T. M. Equipe do Ministério da Agricultura chega a São Francisco do Sul para fiscalizar

estoques químicos. **Notícias do Dia**. 02 outubro 2013. Disponível em: <<http://ndonline.com.br/joinville/noticias/108901-equipe-do-ministerio-da-agricultura-chega-a-sao-francisco-do-sul-para-fiscalizar-estoques-quimicos.html>>. Acesso em 16 out. 2015.

MUNARETTI, E. **Desenvolvimento e avaliação de desempenho de misturas explosivas a base de nitrato de amônio e óleo combustível**. 2002. 249 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **Final report of the motions committee on certified amending motions for presentation at the 2009 association technical meeting** – june 10-11, 2009, Chicago, IL (for the annual 2009 revision cycle documents). 2009. Disponível em: <[http://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/490/NITMAM\\_MC\\_Report\\_A09final.pdf](http://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/490/NITMAM_MC_Report_A09final.pdf)>. Acesso em 14 nov. 2015.

\_\_\_\_\_. **NFPA 400: Hazardous Materials Code**. Quincy, MA, USA. 2013.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Recommendations on the transport of dangerous goods**. v. 1. ed. 17. 2011. Disponível em: <[https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/English/Rev17\\_Volume1.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/English/Rev17_Volume1.pdf)>. Acesso em 14 nov. 2015.

PITBLADO, R. Global process industry initiatives to reduce major accident hazards. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, n. 24, p. 57-62, 2011.

PITMANN, W. et al. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. **Journal of Hazardous Materials**, n. 280, p. 472–477, 2014.

SANTA CATARINA. Constituição (1989). **Emenda Constitucional nº 033**, de 13 de junho de 2003. Altera os artigos 31, 50, 57, 71, 90, 105, 107 e 108, inclui o Capítulo III-A no Título V, e acrescenta os artigos 51, 52, 53, 54 e 55 ao Ato das Disposições Constitucionais Transitórias da Constituição do Estado de Santa Catarina.

\_\_\_\_\_. **Finalizado relatório sobre o incêndio químico em São Francisco do Sul**. 14 janeiro 2014. Disponível em: <<http://www.sc.gov.br/mais-sobre-seguranca-publica/finalizado-relatorio-sobre-o-incendio-quimico-em-sao-francisco-do-sul/>>. Acesso em 13 de nov. 2015.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. Third edition. England: Prentice Hall, 2003.

QUARESMA, J. F. O. **Homemade explosives based in ammonium and urea nitrate**. 2013. 219 f. Dissertação (Mestrado em Química, área de especialização em Química Forense) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.