

Solução não Proprietária para Interoperabilidade entre Sistemas de Gestão e de Rastreabilidade de Resíduos Perigosos

A Non-Proprietary Solution for Interoperability between Hazardous Waste Management and Tracking Systems

Paulo Roberto Baptista Bento^{a*}; Elvio Machado Martins Junior^a; Anderson Amendoeira Namen^{ab}

^aUniversidade Veiga de Almeida, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências do Meio Ambiente. RJ, Brasil.

^bUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, RJ, Brasil.

*E-mail: brpaulo.bento@gmail.com

Resumo

Tecnologias para rastreabilidade de resíduos perigosos vêm sendo aplicadas visando eliminar o descarte indevido, causador de diversos impactos ao meio ambiente e à sociedade. Um dos maiores obstáculos à utilização de sistemas, que aplicam essas tecnologias, reside no emprego de protocolos proprietários para a comunicação entre o sistema de rastreabilidade e os sistemas de informações das diferentes organizações. Soluções próprias de tecnologia são criadas, sem que exista uma padronização com relação aos mecanismos de trocas de dados, implicando em duplicação e redundância de esforços. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho propõe um protocolo padrão não proprietário de comunicação visando a interoperabilidade entre sistemas, com foco na área de gestão e de rastreabilidade de resíduos perigosos, por intermédio da tecnologia de identificação por radiofrequência. Desse modo, organizações públicas, privadas e do terceiro setor podem contar com uma alternativa de solução não proprietária, implicando em maior independência com relação aos fornecedores.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Perigosos. Rastreabilidade de Resíduos. Interoperabilidade entre Sistemas. RFID.

Abstract

The improper disposal of hazardous waste causes several impacts to the environment and society and that is the reason why some technologies were designed to enable the waste traceability. A major obstacle to the use of information systems for waste managing and tracking lies in the use of proprietary protocols for data interchange between the waste tracking systems and the different organizations' information systems. Proprietary technology solutions, which have no standardization regarding the mechanisms for data exchange, are applied resulting in duplication of effort and redundancy. This paper proposes a standard non-proprietary communication protocol aiming at interoperability among systems, focusing on the management and tracking of hazardous waste through radiofrequency identification technology. Thereby, public, private and non-governmental organizations can count on a non-proprietary alternative solution, resulting in greater independence from suppliers.

Keywords: Hazardous Waste Management. Waste Tracking. Systems Interoperability. RFID.

1 Introdução

Entre os maiores causadores de impactos ambientais negativos, na maior parte do mundo, e no Brasil, pode-se citar a má destinação final de resíduos (MONTEIRO *et al.*, 2001), uma vez que grande parte das sobras e de restos da produção e do pós-consumo de produtos ainda não recebe nenhum tipo de coleta seletiva e segregação, sendo coletados e destinados completamente misturados e/ou contaminados, em sua maioria em “lixões” a céu aberto (IBGE, 2008).

Um dos principais problemas associados ao gerenciamento de resíduos, mais especificamente, os classificados como perigosos, está relacionado à ausência de tecnologias que possam auxiliar na rastreabilidade dos mesmos desde os pontos de saída do gerador até as etapas de transporte, de destinação e de disposição final. O atual modelo de rastreabilidade é baseado, exclusivamente, em documentos físicos, passíveis de serem adulterados e manipulados. Desta forma, é comum serem encontrados resíduos destinados de forma irregular e ilegal, em terrenos baldios e a céu aberto.

O Brasil, país em que foi desenvolvido o presente estudo,

tem presenciado diferentes problemas relacionados ao tema. Silva (2007) relata um dos primeiros casos de repercussão no Brasil, o caso Rodhia, envolvendo contaminação por poluentes orgânicos persistentes (POPs), ocorrido na Baixada Santista, no Estado de São Paulo. Depósitos clandestinos de resíduos organocolorados armazenados em condições inadequadas proporcionaram a contaminação do solo e dos corpos hídricos, com conseqüente surgimento de problemas de saúde na comunidade local, fazendo vítimas, inicialmente, entre os próprios funcionários da fábrica.

Pinto (2005), por sua vez, apresenta o caso de contaminação por chumbo, oriundo de uma usina metalúrgica, no município de Santo Amaro da Purificação, na Bahia. A falta de cuidado com os resíduos, dispostos sem impermeabilização prévia do solo e a céu aberto, proporcionou a contaminação do solo e do corpo hídrico. Ademais, o armazenamento inadequado dos resíduos permitiu a utilização de materiais contaminados para fabricação de tijolos e a pavimentação de ruas, tendo como conseqüência desta exposição diversas ocorrências de problemas de saúde entre a população e antigos funcionários

da usina, como casos de câncer e de defeitos congênitos, que persistem até os dias atuais.

O caso CENTRES foi abordado por Santos (2011), em um estudo de caso envolvendo o Centro Tecnológico de Resíduos (CENTRES) em Queimados, RJ. Criado em 1987, o CENTRES operava de forma inadequada, mantendo os resíduos tóxicos armazenados sem respeitar as normas pertinentes de tratamento e de destinação final. Desta forma, grande quantidade de resíduos químicos entrou em contato direto com o solo, comprometendo a qualidade deste e da água da lagoa existente no local, gerando um passivo ambiental e social de grande magnitude, além de inúmeros acidentes de trabalho, redundando na interdição da empresa em 1998. A prática local do consumo de água de poços artesianos também trouxe danos à saúde dos habitantes, considerando a contaminação da água da circunvizinhança do corpo hídrico contaminado.

Segundo Gouveia e Günter (2004), no período de 1978 a 2004 foram registrados, no Cadastro de Acidentes Ambientais (CADAC), 5884 atendimentos a acidentes ambientais no Estado de São Paulo, dos quais 4,8 por cento relacionados ao descarte inadequado de resíduos. Esta participação confere à destinação inadequada de resíduos a quinta posição na causa de acidentes ambientais no Estado de São Paulo. Foram constatados descartes em áreas públicas de periferia ou limítrofes entre municípios, constituindo um facilitador de exposição à população, além do reuso de embalagens contaminadas para diversos fins. Em aproximadamente metade das ocorrências, os órgãos públicos suportaram os custos com transporte e destinação dos resíduos, face à impossibilidade de identificação dos responsáveis.

Outro trabalho, desenvolvido por Silva *et al.* (2005), apresenta estudo realizado na bacia do rio Vacacaí, situado no Estado do Rio Grande do Sul, que avaliou a gestão de resíduos hospitalares. A pesquisa abrangeu 91 unidades de saúde entre hospitais, centros de saúde e laboratórios de análises clínicas, responsáveis por fornecer informações sobre a gestão de resíduos hospitalares. Concluiu-se que as unidades de saúde não estão em conformidade com os princípios enunciados na legislação brasileira, embora quase todas promovam de forma prioritária a segregação de resíduos de saúde, grupo A, segundo a Resolução CONAMA nº 05 de 1993. Os demais resíduos não são gerenciados, sendo recolhidos pelo sistema de coleta municipal e, portanto, destinados aos lixões a céu aberto, representando um sério problema sanitário, ambiental e social. Mais recentemente, Silva, Sperling e Barros (2014) avaliaram os procedimentos de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde identificando, entre outros fatores, falhas nos procedimentos de coleta, no acondicionamento e em seu transporte.

Analisando-se os casos relatados, observa-se que há diversas vulnerabilidades no processo de gerenciamento de resíduos perigosos, em particular, no que tange à garantia de

que o resíduo seja direcionado ao destino adequado. No Brasil, o princípio do “poluidor pagador” se encontra estabelecido na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938, de 31/8/1981). Isso significa dizer que cada gerador é responsável pela manipulação e destino final dos seus resíduos, e de acordo com a Lei Federal nº 9.605 de 1998, a ausência de um correto gerenciamento dos resíduos pode acarretar em crime ambiental nas esferas civil, penal e administrativa. Assim, não basta ao gerador do resíduo perigoso contratar a empresa transportadora e identificar o local adequado para o tratamento ou descarte dos materiais. Este também é responsável por garantir que o resíduo chegue ao destino correto, pois caso contrário, este pode ser responsabilizado dentro dos termos da legislação vigente.

Diferentes tecnologias podem ser aplicadas para auxiliar o processo de gerenciamento e rastreabilidade de resíduos. Nesse sentido, Schindler *et al.* (2012) fazem um apanhado geral sobre os impactos e vantagens relacionadas ao uso da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification – Identificação por Radiofrequência*) para o gerenciamento do ciclo de vida de produtos, apresentando também a aplicação para aprimorar sistemas de gerenciamento de resíduos.

Thomas (2003) cita a possibilidade de utilizar a tecnologia RFID para apoiar a implantação de políticas de cobrança de taxas, de acordo com o volume de lixo produzido, em sistemas de coleta de lixo residencial, o que poderia estimular a reciclagem nos domicílios. Faccio, Persona e Zanin (2011), por sua vez, demonstraram que o emprego de dispositivos como sensores volumétricos, tecnologias RFID, GPRS (*General Packet Radio Service*) e GPS (*Global Positioning System*) pode auxiliar, significativamente, a gestão da coleta de resíduos sólidos urbanos, permitindo a obtenção de dados em tempo real, possibilitando diminuir a área de cobertura e o número de veículos empregados na coleta, com consequente redução do tempo de deslocamento, número de paradas desnecessárias para carga e descarga, emissão de gases da combustão, ruído e congestionamento no tráfego.

Hannan *et al.* (2011) realizaram estudo na Malásia contemplando o uso das tecnologias RFID, tecnologias de comunicação, GPS, GPRS e GIS (*Geographic Information Systems*), associadas a câmeras de baixo custo, em sistema integrado para monitoramento inteligente de contentores de resíduos sólidos e caminhões empregados para seu transporte. Dados obtidos, em tempo real, referentes à situação dos contentores (cheios/vazios), às coletas realizadas e à localização dos caminhões possibilitaram o monitoramento *on-line*, aumentando o controle e otimizando a operação.

Offenhuber, Wolf e Ratti (2013) apresentaram metodologia de rastreamento individual de resíduos, visando criar condições para avaliação do impacto ambiental da coleta e do transporte de produtos eletroeletrônicos em fim de vida, na cidade de Seattle (Washington - EUA), a partir do emprego de sensores ativos de localização associado ao uso de redes

móveis de comunicação. O estudo consistiu na primeira aplicação, em larga escala, da tecnologia de localização ativa para rastreamento de resíduos sólidos urbanos, considerando a coleta, o transporte e a destinação final, possibilitando a avaliação do respectivo impacto ambiental.

Focando mais especificamente na rastreabilidade de resíduos perigosos, o trabalho de Namen *et al.* (2014) propõe uma solução para aumentar o controle e eliminar possíveis fraudes, com vistas a evitar a disposição dos resíduos em locais inadequados. Neste trabalho sugere-se que a comunicação entre o software que efetua a leitura e escrita de dados nos artefatos RFID e o sistema de informação relacionado à gestão de resíduos seja realizada por intermédio de protocolo aberto, não proprietário, mas não se define como seria o protocolo em questão.

Cabe ressaltar que em todos os trabalhos acima apresentados, com exceção do último, soluções de software específicas são desenvolvidas, demandando que, em caso de necessidade de troca de dados com sistemas informatizados de gestão de resíduos, estes últimos sejam adaptados de modo a poder realizar essa comunicação de acordo com a solução desenvolvida. Faz-se, desse modo, necessário que os parceiros envolvidos estabeleçam acordo de aderência mútua em torno de um modelo, em um processo de adaptação que pode exigir grande esforço colaborativo.

Dentro dessa perspectiva, o caráter inovador do presente trabalho ocorre pela proposição de um protocolo padrão não proprietário de comunicação, visando interoperabilidade entre sistemas, com foco na área de gestão e rastreabilidade de resíduos perigosos, por intermédio da tecnologia RFID. O protocolo em questão foi desenvolvido visando integração entre sistemas por intermédio do conceito de *Web Services*, permitindo o envio e o recebimento de dados entre os aplicativos em formato XML (*eXtensible Markup Language*), formato que permite a portabilidade, independentemente da plataforma de hardware e software utilizada. Reitera-se que a maior contribuição da pesquisa é disponibilizar para organizações públicas, privadas e do terceiro setor, uma alternativa de solução não proprietária, implicando em uma maior independência com relação à contratação de soluções de rastreabilidade, que sejam integradas aos sistemas de gestão de resíduos dessas organizações.

Na próxima seção é apresentada a metodologia utilizada, visando garantir a rastreabilidade dos resíduos perigosos por intermédio da tecnologia RFID, bem como os conceitos de *Web Services*, XML e interoperabilidade entre sistemas. Considerando a utilização da tecnologia RFID para rastreabilidade dos resíduos e a necessidade de integração entre o software operacional, utilizado para a comunicação entre os artefatos RFID, e os diferentes sistemas informatizados de gestão utilizados pelas empresas geradoras de resíduos, é apresentado, em seguida, um protocolo padrão não proprietário de comunicação utilizando-se o formato XML, possibilitando a portabilidade, independentemente da

plataforma de *hardware* e software utilizada. Finalmente, são tecidas algumas conclusões acerca do trabalho.

2 Material e Métodos

A proposta de utilização da tecnologia RFID para rastreabilidade de resíduos perigosos foi desenvolvida a partir de visitas a duas empresas geradoras de resíduos perigosos e do acompanhamento do processo de retirada do material, bem como de seu transporte e destinação para a empresa encarregada da recepção de resíduos. As atividades de pesagem (na origem e no destino final), embalagem, colocação no caminhão, retirada dos resíduos, assim como todos os procedimentos garantidores de segurança e da adequada destinação, dentro das normas preconizadas pela legislação ambiental, foram verificadas, buscando-se identificar gargalos, ineficiência e riscos no processo, e propor soluções.

Utilizando-se de um *framework* genérico para implantação de soluções RFID, proposto por Ting, Tsang e Tse (2013), foi desenvolvido um protótipo relacionado ao processo de rastreabilidade dos resíduos perigosos. De uma maneira resumida, propôs-se utilizar etiquetas RFID que seriam afixadas nos contentores dos resíduos (ex: *big bags*, bombonas) a serem transportados. Conforme Schindler *et al.* (2012), cada etiqueta RFID possui um número de série único, o que permitiria rastrear cada contentor, de acordo com a identificação da etiqueta a este afixada. Cabe ressaltar que a tecnologia de radiofrequência permite a leitura e a gravação dos dados das etiquetas à distância, sem contato direto, aumentando a segurança dos envolvidos no processo, já que se trata da manipulação de resíduos perigosos.

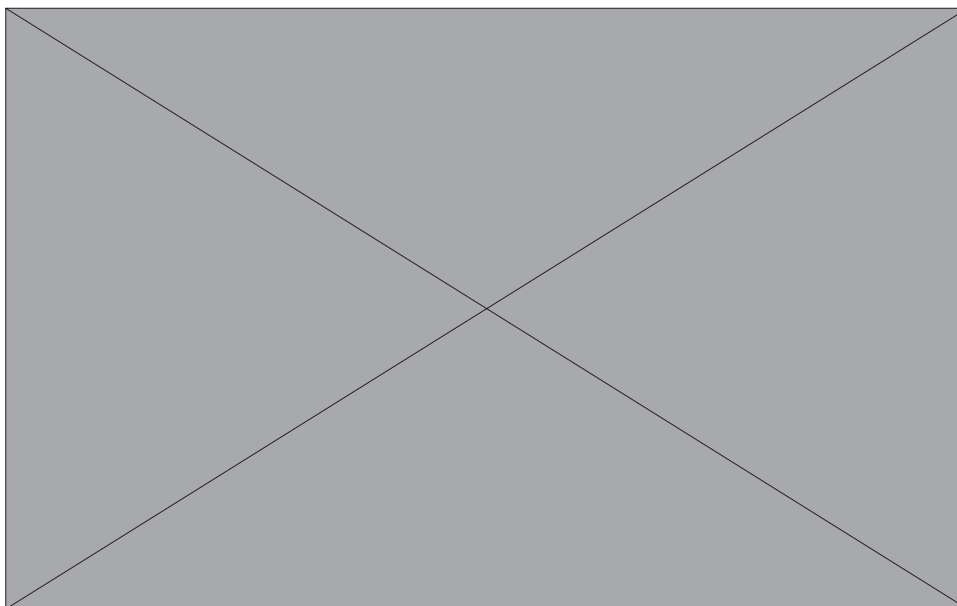
Foi proposta a utilização de um sistema de informação “em nuvem”, ou seja, os dados ficam armazenados em um servidor que pode ser acessado de qualquer local, desde que haja disponibilidade de acesso à *Internet* e autenticação do usuário (através de login/senha) para acesso ao sistema. Assim, o sistema de informação é atualizado no ponto de origem dos resíduos, com o registro das informações do manifesto (número, tipo do resíduo, peso, meios de condicionamento, veículo de transporte) e das etiquetas RFID afixadas nas embalagens transportadas, bem como com a data/hora de saída e latitude/longitude identificando o respectivo local.

No momento da saída dos resíduos, os dados do respectivo manifesto são atualizados com a informação de que o material se encontra com status “em transporte”. Além disso, no local de recebimento do material, o sistema em nuvem também é atualizado com a coleta das medidas de peso e de leitura das etiquetas RFID recebidas, bem como data/hora de chegada e latitude/longitude. Caso seja detectada alguma divergência em relação aos dados de peso ou do número e identificação das etiquetas lidas, os dados do manifesto são atualizados com um status indicando “divergência no recebimento”. Caso contrário, o status do manifesto passa a ter a indicação de “entregue no destino adequado”. Detalhes completos dos equipamentos, etiquetas, bem como procedimentos realizados

para leitura e gravação das etiquetas são apresentados em Namen *et al.* (2014). Estes últimos autores sugerem que o processo de troca de dados entre os artefatos RFID (equipamentos que leem/gravam das/nas etiquetas) e o

sistema em nuvem seja feito por intermédio de um protocolo não proprietário para comunicação, de modo a permitir uma fácil interoperabilidade entre os sistemas. O diagrama da Figura 1 apresenta um resumo do processo.

Figura 1 – Processo de rastreabilidade de resíduos perigosos com RFID



Fonte: Adaptado de Namen *et al.* (2014)

2.1 Web Services e Interoperabilidade

A evolução da *Internet*, em especial o surgimento do conceito de nuvem, fez com que aplicativos e sistemas corporativos passassem a se comunicar mais amplamente, via *Internet*, por intermédio da troca de dados. Para que sistemas de duas organizações distintas possam se comunicar, faz-se necessário que os parceiros envolvidos estabeleçam acordo de aderência mútua em torno de um modelo, adaptando-se ao mesmo para concretização da comunicação intersistemas (ABINADER; LINS, 2006). Este processo de adaptação pode exigir grande esforço colaborativo, exercido através de contatos via e-mail, realização de inúmeras reuniões, testes e outros mecanismos de interação humana. Muitas vezes, em determinadas áreas de conhecimento, soluções próprias de tecnologia são criadas, sem que exista uma padronização com relação aos mecanismos de trocas de dados. Assim, diferentes organizações, atuando com sistemas que visam solucionar problema idêntico, criam diferentes soluções proprietárias, dificultando a utilização de um padrão ou protocolo único, dentro da respectiva área de atuação, para que diferentes e inúmeros sistemas possam se comunicar.

A tecnologia *Web Services* e a linguagem XML foram desenvolvidas com vistas a permitir a integração entre bases de dados estanques, situadas em organizações, plataformas e sistemas distintos. Essencialmente, *Web Services* fazem com que os recursos da aplicação do software estejam disponíveis sobre a rede (*Internet*) de uma forma padronizada. Assim, uma aplicação pode invocar outra para efetuar tarefas simples

ou complexas, mesmo que as duas aplicações estejam em diferentes sistemas e desenvolvidas em linguagens diferentes.

2.2 XML

Pode ser considerada a base sobre a qual os *Web Services* são construídos. O XML fornece a descrição, o armazenamento e o formato da transmissão para trocar os dados através dos *Web Services*. Sua sintaxe específica como os dados são representados genericamente, define como os dados são transmitidos, pormenoriza como os serviços são publicados e descobertos, em suma, define um protocolo aberto para interoperabilidade entre sistemas. Desse modo, os *Web Services* realizam a decodificação das diversas partes do XML visando interação com as várias aplicações.

Apesar da não apresentação dos detalhes técnicos da linguagem XML (que podem ser encontrados em Daum, 2004), devido à fácil interpretação das regras da sintaxe XML, o exemplo a seguir permite o entendimento dos conceitos relacionados à linguagem.

Supondo que se deseje descrever os dados de um determinado livro, identificando seu título e autor(es), bem como as características dos seus diferentes capítulos como, por exemplo, títulos e número de páginas. Um possível documento XML, usado para descrição destes dados, poderia ser representado, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de documento XML

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<book isbn="978-85-391-221-1">
  <title> Educação pública no Brasil </title>
  <author> Thiago Alves </author>
  <author> Cláudia Souza Passador </author>
  <chapter number="1">
    <chapter-title> Avaliação na administração pública </chapter-title>
    <pages> 17 </pages>
  </chapter>
  <chapter number="2">
    <chapter-title> A educação no Brasil </chapter-title>
    <pages> 43 </pages>
  </chapter>
  .
  .
  .
</book>

```

Fonte: Dados da pesquisa

A primeira linha do documento - a declaração XML - define a versão XML e a codificação de caracteres usada no documento. Neste caso, o documento está conforme a especificação 1.0 da XML e utiliza uma codificação de caracteres do alfabeto latino, conforme especificada pela ISO 8859-1.

O texto que aparece entre os sinais < ... > é chamado de marcador XML. Pode-se notar que a XML permite a definição dos diferentes elementos do documento, através destes marcadores. Com marcadores XML é possível não somente descrever os elementos do documento, como também fixar a estrutura lógica destes elementos. A descrição de um elemento se inicia com o marcador <elemento>, sendo finalizada com o marcador contendo uma barra (</elemento>).

Analisando a figura, observa-se que o documento descreve um livro, sendo que o marcador que inicia a descrição do mesmo é apresentado na segunda linha (<book isbn="978-85-391-221-1">), e contém a informação do ISBN do livro. Nota-se também que somente na última linha do documento é apresentado o marcador de fechamento deste elemento (</book>). Por este motivo, todos os elementos apresentados antes da última linha, por intermédio de diferentes marcadores, compõem a estrutura, que descreve um livro. Desse modo, um livro poderia ser descrito a partir das informações de seu título (<title>), de seus autores (<author>) e de seus diversos capítulos (<chapter>). Cada capítulo, por sua vez, seria descrito com base nas informações de seu título (<chapter-title>) e do número de páginas (<pages>).

Cabe salientar que, uma vez definida a estrutura lógica do documento XML, a partir das identificações dos marcadores, sua respectiva hierarquia e ordem, cria-se a possibilidade de qualquer sistema informatizado interpretar as informações contidas dentro do mesmo, permitindo o intercâmbio de dados entre diferentes sistemas de informações e seus diferentes bancos de dados, independentemente da plataforma de hardware ou software utilizada. Em suma, a definição da estrutura lógica do documento XML é a base sobre a qual o protocolo para interoperabilidade entre sistemas se aplica. Assim, uma vez conhecida essa estrutura lógica, qualquer sistema de informação poderia interpretar que o documento apresentado, na Figura 2, descreve o livro de ISBN igual a 978-85-391-221-1, que tem o título "Educação Pública no

Brasil", de autoria de Thiago Alves e Cláudia Souza Passador, e que possui, entre outros capítulos, o capítulo 1, denominado "Avaliação na administração pública", contendo 17 páginas, bem como um segundo capítulo contendo um total de 43 páginas, e intitulado "A educação no Brasil".

Com base neste pequeno exemplo, pode-se inferir que, a partir da definição de uma estrutura padronizada contendo o formato XML, que descreva os dados relacionados com determinada área de conhecimento, é possível utilizar um protocolo padrão para troca de informações visando interoperabilidade entre diferentes sistemas.

3 Resultados e Discussão

3.1 Tecnologia RFID, gestão de resíduos perigosos e interoperabilidade

Um sistema de tecnologia RFID é baseado em três componentes: etiquetas, leitores e software operacional. As etiquetas contêm, em seu interior, um *chip* capaz de armazenar dados e podem ser gravadas e regravadas milhares de vezes, à distância e sem contato visual, por intermédio de sinais eletromagnéticos convenientemente modulados e codificados provenientes de leitores. Estes leitores na realidade não são meros leitores, posto que não só leem a informação armazenada no chip da etiqueta, como também gravam dados no mesmo, respeitados critérios como a limitação física do alcance do sinal e tamanho de memória e segurança do *chip* contra o acesso indevido por terceiros (GOMES; NOGUEIRA; ABRUNHOSA, 2009). Por fim, tem-se o software operacional, que é o responsável pelo controle de todos os componentes deste sistema e processamento correto dos dados inerentes ao mesmo, atuando através de módulos de comunicação que empregam protocolos específicos. Em suma, o software operacional possibilita a comunicação entre leitores e etiquetas visando leitura e gravação dos dados.

Tavares e Bendassolli (2005) citam a importância da utilização de software de gestão para o controle de estoque dos volumes de resíduos químicos produzidos e armazenados em laboratórios de universidades, de escolas e de institutos de pesquisa, bem como a elaboração de relatórios das atividades de entrada ou de saída de resíduos em um dado período. Apesar de se concentrarem na gestão dos resíduos produzidos em laboratórios de pesquisa, os autores afirmam que as indústrias são as maiores geradoras de resíduos químicos em termos de volume e periculosidade, o que reforça a importância da utilização de sistemas informatizados para gestão dos resíduos produzidos.

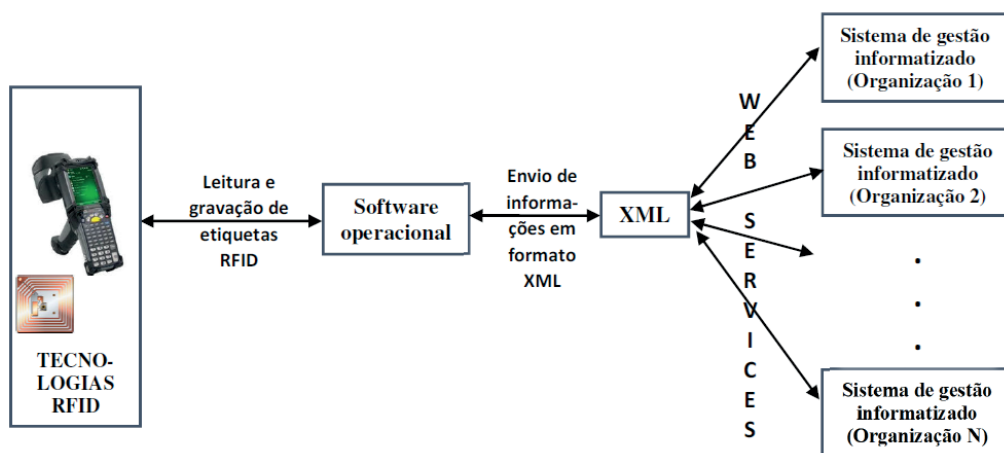
Considerando a utilização da tecnologia RFID para rastreabilidade dos resíduos e a necessidade de integração entre o software operacional, utilizado para a comunicação entre os artefatos RFID, e os diferentes sistemas informatizados de gestão utilizados pelas empresas geradoras de resíduos, torna-se essencial que o software operacional empregue, preferencialmente, uma interface aberta (não proprietária)

de comunicação, para que esta integração seja realizada de forma simples, rápida e também isonômica. Nesse sentido, a tecnologia *Web Services*, previamente descrita, é o caminho para a concretização desse objetivo.

Dentro dessa perspectiva, um protocolo padrão não proprietário de comunicação visando interoperabilidade entre sistemas, com foco na área de gestão e rastreabilidade de resíduos perigosos por intermédio da tecnologia RFID é apresentado no presente trabalho. O protocolo em questão

foi desenvolvido visando integração entre sistemas por intermédio do conceito de *Web Services*, permitindo o envio e o recebimento de dados entre os aplicativos no formato XML, formato que permite a portabilidade, independentemente, da plataforma de hardware e software utilizada. Em suma, o protocolo proposto no presente trabalho visa permitir a fácil integração entre a tecnologia RFID e quaisquer sistemas informatizados de gestão de resíduos perigosos pertencentes a diferentes organizações, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Integração de tecnologia RFID com sistemas de gestão via *Web Services*



Fonte: Dados da pesquisa.

3.2 Rastreabilidade de resíduos perigosos - formato XML

Para a elaboração do modelo de formatação do arquivo XML a ser usado, visando interoperabilidade, considerou-se que uma organização produtora de resíduos pode gerar diferentes tipos de resíduos perigosos e que cada tipo de resíduo perigoso deve estar relacionado a um manifesto independente, ou seja, se *n* tipos de resíduos devem ser transportados *n* manifestos devem ser gerados (INEA, 2004). Além disso, conforme mencionado, assume-se que cada manifesto estará relacionado com diversas etiquetas RFID, etiquetas estas afixadas aos contentores dos resíduos discriminados no manifesto, conforme apresentado em Namen *et al.* (2014).

Dentro dessa perspectiva, o formato do documento XML proposto contém marcadores que identificam o manifesto, sendo sua estrutura composta por elementos que descrevem a empresa geradora, o tipo de resíduo, bem como os números de série das etiquetas relacionadas ao manifesto. Por se tratar de um aspecto mais técnico, que deve ser acessado por empresas de software, optou-se por não apresentar o esquema XML, que contém a definição formal da estrutura XML proposta, no presente trabalho. Detalhes gerais sobre a formatação de um esquema XML podem ser encontrados em Daum (2004) e detalhes sobre o esquema XML relacionado a este trabalho são apresentados em Namen (2014). De qualquer maneira, é apresentado um exemplo ilustrativo a seguir, que possibilita o entendimento da aplicação do protocolo.

O exemplo fictício (Figura 4) apresenta um documento

XML, que descreve o manifesto de número 123456, da empresa geradora identificada pelo seu CNPJ (igual a 012234567000101), que gerou resíduos classificados como do tipo F001, tendo as etiquetas de números de série 98769876, 12341234 e 45674567 sido afixadas nas embalagens dos mesmos.

Figura 4 - Rastreabilidade de resíduos perigosos via RFID (documento XML)

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<manifest id="123456">
    <generator> 012234567000101 </generator>
    <waste_type> F001 </waste_type>
    <tag> 98769876 </tag>
    <tag> 12341234 </tag>
    <tag> 45674567 </tag>
</manifest>
```

Fonte: Dados da pesquisa

Analisando a figura, pode-se observar que, para cada manifesto, são descritas as informações do seu número (*<manifest id="123456">*), da identificação da respectiva empresa geradora (marcador *<generator>*), do tipo de resíduo gerado (*<waste-type>*) e de todas as etiquetas RFID (marcadores *<tag>*) utilizadas para o rastreamento dos resíduos.

Pode-se constatar, também, a possibilidade de qualquer sistema de informação, de forma simples, efetuar a troca de

dados, bastando para isso ter acesso ao documento (arquivo) XML, bem como ter conhecimento deste protocolo, que define as regras de formatação do respectivo documento. Desse modo, organizações públicas, privadas e do terceiro setor podem utilizar uma solução padronizada, não proprietária, e ter maior independência com relação à contratação de fornecedores de soluções para rastreabilidade de resíduos.

4 Conclusão

Diversas vulnerabilidades podem ser observadas no processo de gerenciamento de resíduos perigosos, em particular, no que tange à garantia de que o resíduo seja direcionado ao destino adequado. Nesse sentido, o presente trabalho apresentou uma solução visando utilização de artefatos RFID para a rastreabilidade dos resíduos perigosos produzidos pelas organizações, com a possibilidade de integrar as informações coletadas por intermédio da tecnologia a qualquer sistema computacional relacionado à gestão de resíduos.

Atualmente, um dos maiores obstáculos à utilização de sistemas de tecnologia RFID reside no emprego, por parte das organizações, de protocolos proprietários para a comunicação de dados entre o sistema RFID e os sistemas de informações destas. Soluções próprias de tecnologia são criadas, sem que exista uma padronização com relação aos mecanismos de trocas de dados, implicando em duplicação e redundância de esforços. A proposta aqui apresentada, não proprietária, apresenta significativa melhoria em relação aos trabalhos anteriormente desenvolvidos, que utilizam a tecnologia RFID. Assim, diferentes organizações, públicas e privadas, podem realizar a integração de seus sistemas por intermédio de *Web Services*, permitindo o envio e o recebimento de dados entre os aplicativos no formato XML, com total portabilidade e independência em relação às plataformas de hardware e software utilizadas.

Cabe salientar que o protocolo desenvolvido ainda se restringe a resíduos perigosos, mas se pretende desenvolver trabalhos futuros visando criação de protocolo aberto relacionado aos resíduos de qualquer espécie.

Referências

ABINADER, J.A.; LINS, R.D. *Web Services em Java*. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.

DAUM, B. *Modelagem de objetos de negócio com XML: abordagem com base em XML Schema*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

FACCIO, M.; PERSONA, A.; ZANIN, G. Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management*, v.31, p.2391-2405, 2011.

GOMES, G.; NOGUEIRA, I.; ABRUNHOSA, J.J. *Tecnologia RFID sem mistérios*. Nova Friburgo: Êxito Brasil, 2009.

GOUVEIA, J.L.N.; GUNTHER, W.M.R. Descarte de resíduos químicos no Estado de São Paulo decorrente do atendimento de emergências, no período de 1978 a 2004. Relatório Técnico, 2014. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/artigos/artigos/manuscripto_iswa_2005.pdf. Acesso em: 6 nov. 2017.

HANNAN, M.A. *et al.* Radio Frequency Identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, v.31, p.2406-2413, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em: 30 out. 2017.

INEA. DZ 1310 R-7. Sistema de Manifesto de Resíduo. 2004. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/fma/licenciamento-documentos.asp> Acesso em: 22 nov. 2017.

MONTEIRO, J.H.P. *et al.* Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NAMEN, A.A. Protocolo padrão de interoperabilidade entre sistemas usando tecnologia RFID para gerenciamento e rastreabilidade de resíduos perigosos. Relatório Técnico. Rio de Janeiro: Universidade Veiga de Almeida, 2014.

NAMEN, A.A. *et al.* RFID technology for hazardous waste management and tracking. *Waste Manag. Res.*, v. 32, p. 59-66, 2014.

OFFENHUBER, D., WOLF, M.I.; RATTI, C. Trash track – active location sensing for evaluating e-waste transportation. *Waste Management Res.*, v.31, n.2, p.150-159, 2013.

PINTO, L.M.O. Implicações da contaminação por metais pesados no meio ambiente da Baía de Sepetiba e entorno: o caso da Cia Mercantil Ingá. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2005.

SANTOS, M.C.B. Avaliação da Contaminação em solos impactados pela disposição de rejeitos industriais: um estudo de caso – CENTRES (Queimados, RJ). Dissertação. (Mestrado em Geociências – Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2011.

SCHINDLER, R. *et al.* Smart Trash: study on RFID Tags and the recycling industry. Technical Report TR-1283-EC. Santa Monica: RAND Corporation, 2012.

SILVA, R.F.G. Gestão de áreas contaminadas e conflitos ambientais: o caso da cidade dos meninos. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, C.E. *et al.* Medical wastes management in the south of Brazil. *Waste Management*, v.25, p.600-605, 2005.

SILVA, D.F., SPERLING, E.V., BARROS, R.T.V. Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em municípios da região metropolitana de Belo Horizonte (Brasil). *Eng Sanit Ambient*, v.19 n.3, p. 251-262, 2014.

TAVARES, G.A., BENDASSOLII, J.A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. *Quim. Nova*, v.28, n.4, p.732-738, 2005.

THOMAS, V.M. Product self-management: evolution in recycling and reuse. *Environ. Sci. Technol.*, v.37, p.5297-5302, 2003.

TING, S.L.; TSANG, A.H.C.; TSE, Y.K. A Framework for the Implementation of RFID Systems. *Int. J. Eng. Business Management*, v.5, p.1-16, 2013.