

# **USO DE REDES DE SENSORES SEM FIO E RADIOFREQUÊNCIA NA CADEIA DA CARNE BOVINA E PROPOSTA DE UM MODELO DE RASTREABILIDADE**

**Roberto Fray da Silva**  
**Carlos Eduardo Cugnasca**  
Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica

## **RESUMO**

Em 2010, o Brasil exportou 951.242 toneladas de carne bovina. A perecibilidade e a exigência de rastreabilidade tornam a logística essencial para este produto. É necessário um modelo que permita a consulta de informações de histórico, qualidade e localização do produto, sendo que este ainda não existe. Este artigo objetiva estudar o uso das tecnologias de radiofrequência e redes de sensores sem fio para propor um modelo de rastreabilidade que aborde toda a cadeia e permita acompanhar estas informações em tempo real. Este possui oito etapas: fazenda; transporte rodoviário ao abatedouro; abatedouro; transporte rodoviário ao porto; terminal portuário de origem; transporte marítimo; terminal portuário de destino; e distribuição. Considerou-se também o uso do modal ferroviário. Os próximos passos em continuidade a este trabalho são: coletar entradas da cadeia, simular o modelo e aplicá-lo em escala de testes. As principais limitações foram: quantidade de informações sobre a cadeia e rastreabilidade.

## **ABSTRACT**

In 2010, Brazil exported 951,242 tons of cattle meat. Logistics is essential for this product due to its perishability and need for traceability. A model that allows the access to information regarding the products' history, quality and location is necessary, but still does not exist. The current paper's objective is to study the radiofrequency and wireless sensor networks technologies to propose a traceability model that addresses the supply chain as a whole and allows access to this information in real time. It has eight stages: farm; road transport to the slaughterhouse; slaughterhouse; road transport to the harbor; national harbor; maritime transport; importer's harbor; and distribution. The model also considers using railways. The next steps of this project are: collect data on the supply chain, simulate the model's use and apply it on a pilot project. The main limitations were: lack of information regarding the supply chain and traceability in it.

## **1. INTRODUÇÃO**

No ano de 2010, o agronegócio contribuiu com R\$ 821.060 milhões ao PIB brasileiro, o que correspondeu a 22,34% do PIB do país (CEPEA, 2011). A exportação é o principal destino da produção brasileira de grãos, açúcar e carne, sendo que estes produtos possuem certas características em comum que influenciam sua logística: grande volume, fluxo com poucos destinos (portos) e baixo valor agregado. Segundo dados oficiais, o Brasil é o maior exportador de carne bovina no mundo, contribuindo com 951.242 toneladas exportadas em 2010, o que equivale à cerca de US\$ 3,86 bilhões (MDIC/SECEx, 2011).

A logística da carne bovina é muito importante devido à alta perecibilidade do produto e à possibilidade de se obter melhores preços na carne resfriada em relação à carne congelada. Alguns complicadores adicionais desta cadeia dizem respeito à grande quantidade de elos envolvidos na mesma; possibilidade de diferentes configurações das unidades abatedouras e de centros de distribuição; diferentes produtos que podem ser produzidos a partir de uma mesma carcaça animal; e a crescente exigência de rastreabilidade em toda a cadeia.

A rastreabilidade, definida por Juran e Godfrey (1999) como a criação e manutenção de um sistema de informações que permita a diferentes usuários em diferentes elos da cadeia acessarem informações com relação aos locais pelos quais o produto foi movimentado, quais

foram os processos a que este foi submetido e seu histórico. O sistema necessita de tecnologias para coleta, processamento e transmissão de dados de forma automática.

Duas tecnologias se destacam atualmente para a criação de um sistema de informações como o idealizado por Juran e Godfrey (1999): identificação por radiofrequência (RFID) e redes de sensores sem fio (RSSF). A primeira é responsável principalmente pelo cadastro de informações do produto ao longo da cadeia, enquanto que a segunda é responsável por coletar dados das variáveis ambientais nos locais pelos quais o produto passou.

Segundo Ruiz-Garcia et al. (2008), o uso de RSSF permite obter informações sobre os produtos para atestar a sua adequada conservação, como a temperatura e umidade relativa. Estes dados são importantes, segundo Scheer (2006), pois as perdas de produtos perecíveis na etapa de transporte relacionados à variação de temperatura são de até 35%. Um monitoramento de maior qualidade das variáveis envolvidas no transporte destes produtos pode levar à diminuição de perdas (JEDERMANN e LANG, 2009). No caso da carne bovina, as variáveis mais importantes a serem acompanhadas são: temperatura, umidade relativa, luminosidade e vibração. Até o presente momento, não existe um modelo utilizando estas tecnologias proposto para a cadeia de carne bovina, que considere os diferentes elos da cadeia e que possa ser adaptado às condições brasileiras.

O problema de pesquisa do presente artigo pode ser definido como: *“É possível utilizar as mais avançadas tecnologias de coleta e transmissão de dados sem utilização de cabos para atingir a rastreabilidade total dos produtos na cadeia de carne bovina visando exportação e, se sim, qual seria o modelo que melhor se adapta às condições brasileiras?”*.

Por meio de pesquisa bibliográfica na área de aplicação de RFID e RSSF na cadeia logística e um levantamento dos atuais métodos utilizados para a rastreabilidade da carne bovina para exportação no país, o artigo propõe um modelo de rastreabilidade para este produto que permita uma maior facilidade na coleta e transmissão de dados, em conjunto com uma diminuição na possibilidade de falhas humanas e maior flexibilidade do sistema.

Acredita-se que a rastreabilidade dos produtos será uma exigência no futuro. Existe, então, a necessidade de se desenvolverem novos sistemas de coleta, processamento e transmissão de dados, adaptados às características específicas desta cadeia de suprimentos.

## **2. LOGÍSTICA E RASTREABILIDADE**

Daskin (1985) define logística como a ciência que se encarrega de fazer com que os diferentes insumos e produtos alcancem o lugar certo, dentro de condições pré-determinadas de quantidade, tempo e qualidade, com um menor custo possível. Ballou (2006) e Bowersox et al. (2002) utilizam definições semelhantes, porém também considerando o fator sustentabilidade: é necessário atentar para o destino do produto ao final de sua vida útil.

Chopra e Meindl (2010) sugerem o conceito de *supply chain* ou cadeia de suprimentos para a abordagem de cadeias de produtos, caracterizando-as como redes contendo todos os agentes envolvidos, de forma direta ou indireta, no atendimento da demanda de um consumidor. No caso da carne bovina visando exportação isto inclui produtores de animais, abatedouros, processadores, transportadores, armazéns frigoríficos, despachantes, terminais portuários,

armadores, atacadistas, varejistas, e os próprios consumidores. Estes autores analisam não somente os fluxos de produto e dinheiro dentro da cadeia de suprimento, mas também o fluxo de informações, fator primordial para se atingir o conceito de rastreabilidade.

A rastreabilidade é uma exigência por parte dos consumidores de produtos perecíveis, pois esta permite que os mesmos tenham acesso às informações de qualidade, localização e processos pelos quais um produto passou, quando acharem necessário. Este fator é tão importante que diversas empresas estão exigindo rastreabilidade por parte de seus fornecedores, como é o caso da Walmart, que exige o uso de etiquetas RFID em todos os produtos de seus 100 maiores fornecedores (Chopra e Meindl, 2010).

Para que um sistema deste tipo funcione de forma correta, é necessária a utilização de tecnologia que permita a elaboração de um banco de dados de fácil inserção de dados pelos diferentes agentes da cadeia e de fácil acesso, no caso de consumidores. Este também precisa ser seguro com relação às restrições de visualização dos dados e de fácil aplicação, não modificando de forma significativa as atuais operações das empresas.

Machado e Nantes (2004) citam que, devido a maiores exigências com relação à qualidade por parte dos consumidores no mercado internacional, o conhecimento do caminho percorrido por um produto ao longo de sua vida útil torna-se essencial. Esta preocupação tem como objetivo evitar contaminações de alimentos e perda excessiva de qualidade, sendo que os autores citam o caso da Encefalopatia Espongiforme Bovina como um dos responsáveis pelo surgimento da preocupação com rastreabilidade nesta cadeia.

Juran e Godfrey (1999) citam que as principais vantagens de um sistema eficiente de rastreabilidade são: assegurar a qualidade tanto dos insumos quanto dos produtos finais; evitar mistura de produtos; aumentar a facilidade no caso de *recall* de produtos e tornar menos custosa a localização de falhas e sua correção.

As principais etapas de um sistema de rastreabilidade, citados por Vinholis e Azevedo (2002), são: estabelecimento de padrões dos produtos e processos; avaliação das ações praticadas e se estas estão de acordo com os padrões pré-estabelecidos; ações corretivas; e investimento em melhoramento contínuo dos padrões pré-estabelecidos.

Segundo Hsueh e Chang (2010), um sistema de RFID é composto por etiquetas ou *tags*, um leitor de etiquetas (também chamado de leitor RFID) e um sistema para armazenamento dos dados. Este pode estar conectado ao sistema gerencial da empresa, ou pode enviar os dados coletados diretamente para um servidor na *web*. As etiquetas possuem um *microchip*, responsável por armazenamento de dados, e uma antena, que envia os dados ao leitor.

Segundo Bowersox et al. (2002), um dos principais usos da tecnologia RFID atualmente é na identificação de contêineres e seus conteúdos conforme estes se movem ao longo de diferentes indústrias e/ou equipamentos de transporte, dentro de uma cadeia de suprimentos. Kelepouris et al. (2007) citam que esta tecnologia dá origem à possibilidade de gerar um sistema de rastreabilidade eficiente e eficaz.

É possível, por meio do uso da tecnologia de RFID, identificar e localizar os diferentes produtos e insumos ao longo dos elos de uma cadeia por diferentes atores, originando um

banco de dados com estas informações (SCAVARDA et al., 2005). No caso de produtos perecíveis, é necessário também o monitoramento de variáveis ambientais como temperatura e umidade relativa para manter a qualidade do produto ao longo da cadeia.

Srivastava (2004) fornece uma revisão sobre a adoção da tecnologia RFID na indústria de alimentos, sendo que foi observado que seu uso diminui os tempos envolvidos nos processos que exigem manipulação do produto. Bowersox et al. (2002) citam como um dos principais usos de RFID a identificação de contêineres e seus conteúdos conforme estes se movem ao longo de diferentes indústrias ou equipamentos de transporte.

Já a tecnologia de RSSF é definida por Glisic e Lorenzo (2009) como uma rede de sensores com grande número de sensores em atuação em uma área limitada, sem conexão física, e que captam informações do ambiente e se comunicam entre si. Estes, segundo Aguilar (2008) são acoplados aos chamados nós, que podem ou não estar conectados a estações centrais, chamadas de estação base ou computador central.

Os nós são formados por: sensores, que irão monitorar o fenômeno desejado; processador; memória para armazenamento de dados; *transceiver*, que cuida da transmissão de dados dos sensores; e uma bateria para suprimento de energia. A rede é formada por: infraestrutura, relacionada aos sensores e sua distribuição no local; pilha de protocolos, formada por *softwares* utilizados na implementação das camadas de protocolos nos nós da rede; e aplicação, que é inclui as consultas dos usuários (AGUILLAR, 2008 e SLÍVA, 2008). Estas RSSFs possuem diversos usos como monitoramento de condições ambientais, saúde de pacientes, ambientes empresariais e rastreabilidade de produtos, notadamente quando seu transporte utiliza contêineres, como é o caso da cadeia estudada.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente artigo possui características tanto de um estudo exploratório, por gerar uma estrutura que vai ser posteriormente testada em futuros estudos, por meio do desenvolvimento de hipóteses a serem pesquisadas; descritivo, por envolver a tentativa de controle e manipulação de variáveis; estudo de caso, por ser voltado à profundidade em um tópico, visando uma análise contextual completa de poucos fatos; e uma pesquisa de laboratório, por não ter sido aplicada ainda (COOPER & SCHINDLER, 2001). Este se baseia em uma revisão bibliográfica do estado da arte na aplicação da tecnologia de RSSF.

Em um primeiro momento, foi feito um levantamento das mais atuais e significativas pesquisas na aplicação de RFID e RSSF na logística de modo de geral. Em seguida, fez-se um aprofundamento no uso destas tecnologias no transporte e armazenamento de produtos agrícolas. Um levantamento da rastreabilidade na cadeia da carne bovina visando exportação foi realizado e, a partir dos conhecimentos adquiridos da revisão bibliográfica das tecnologias de RFID e RSSF e os métodos utilizados atualmente no Brasil para garantir a rastreabilidade deste produto e seus principais gargalos, foi proposto um modelo de rastreabilidade que permite coleta, processamento e fornecimento de informações com relação ao produto em tempo real durante toda a cadeia de suprimentos para diferentes agentes da cadeia.

#### 4. A RASTREABILIDADE NA CADEIA DA CARNE BOVINA

Para resolver os problemas relacionados à rastreabilidade do produto, é necessário endereçar os seguintes processos: coleta de dados; transmissão; e análise de dados, nos diferentes elos da cadeia (Wilson e Clarke, 1998). O meio de comunicação e distribuição de dados deve possuir um meio de comum e fácil acesso para todos os agentes da cadeia.

Wilson e Clarke (1998) propõem um modelo pioneiro de rastreabilidade baseado em um banco de dados na Internet, compartilhado entre todos os agentes da cadeia. Neste modelo, cada agente pode utilizar o código de barras do produto para verificar as informações de rastreabilidade do mesmo via um *website* na Internet.

Em um estudo de caracterização da rastreabilidade na cadeia de carne bovina feita por Schakell (2008), foi observado que esta se utiliza de diferentes tecnologias nos diferentes elos da cadeia. Os animais são rastreados, em sua grande maioria, utilizando brincos com numeração da fazenda, sendo que em alguns casos podem-se utilizar colares com etiquetas RFID. A partir do momento do abate, a rastreabilidade é realizada utilizando-se etiquetas RFID ou códigos de barras, sendo que as primeiras possibilitam a inserção de uma quantidade maior de informações. Caso a opção por códigos de barras seja feita, parte das informações do histórico do animal, necessárias para a rastreabilidade, serão perdidas.

Estudo feito por Smith et al. (2008) cita a utilização de etiquetas nas carcaças dos animais e nas esteiras de movimentação das mesmas para manter a rastreabilidade nos abatedouros. Esta é difícil de ser realizada em condições normais devido à grande quantidade de processos envolvidos no desmembramento da carcaça, e também devido às diferentes possibilidades de cortes exigidas pelos clientes.

Um estudo realizado por Silva (2009) visando caracterizar a cadeia logística de carne bovina demonstrou que, no caso de exportação, os produtos são colocados em caixas e *pallets*, e estes são carregados nos contêineres refrigerados (também conhecidos por *reefers*), com destino aos terminais portuários. O autor observou que, no período no qual a pesquisa foi realizada, a única variável ambiental monitorada ao longo da cadeia foi a temperatura dentro do contêiner. Este monitoramento foi realizado utilizando *data loggers*, aparelhos que registram as variações de temperatura ao longo de toda a cadeia.

Porém, segundo Silva (2009), a coleta destes dados é realizada de forma manual, e somente em pontos de parada (como é o caso dos terminais portuários e armazéns). Também ocorre coleta de dados durante o transporte marítimo, mas é necessário que um funcionário realize este trabalho, podendo ocasionar falhas humanas no processo de coleta.

Os dados, após a coleta, são inseridos em bancos de dados, e podem ser consultados caso necessário. Esta arquitetura não permite o acompanhamento em tempo real das variáveis ambientais no local onde a carga se encontra, e não há integração entre os sistemas dos diferentes elos da cadeia. Esta falta de acompanhamento da carga em tempo real também impede a utilização de modais alternativos, como o ferroviário, devido à dificuldade de localização da carga e da baixa confiabilidade destas formas de transporte.

Sima et al. (2009) realizaram um estudo da cadeia de carne bovina, elaborando uma proposta

de modelo de sistema de informação para esta cadeia, utilizando-se de bancos de dados na Internet e uma arquitetura de *software* voltada a serviços. Porém, uma das principais lacunas deste trabalho diz respeito à logística do produto final, que recebeu pouca atenção.

Estudo de Ruiz-Garcia et al. (2007) cita que a cadeia de suprimentos de produtos movimentados sob condições especiais, como temperatura e umidade relativa controladas, precisa agir como uma única entidade no que diz respeito à rastreabilidade. Isto é explicado pelo fato de que a ocorrência de problemas de qualidade em qualquer ponto da cadeia irá prejudicá-la como um todo. O sistema de rastreabilidade usado para estes produtos perecíveis, como é o caso de frutas e carnes, precisa então ser concebido de forma a unificar toda a cadeia.

Estudo de Souza Filho et al. (2008) visou identificar os principais gargalos da cadeia de carne bovina no estado de São Paulo e fornecer recomendações para supri-los. Dentre estes, os autores citam as diferenças nos incentivos fiscais entre estados, a escassez de matéria-prima e altos custos de produção.

Segundo Souza Filho et al. (2008), a estratégia utilizada para localização de frigoríficos no Brasil segue o padrão norte-americano, com as unidades próximas da matéria-prima. Duas razões que explicam esta configuração são: menores custos relacionados a transporte de insumos para as fazendas, e menores custos envolvidos com transporte de “peso morto” (partes do animal não comercializadas).

Segundo Souza Filho et al. (2008), o Sistema Brasileiro de Rastreamento de Bovinos (SISBOV) foi criado na década de 90, após a crise de BSE na Europa. Este sistema se caracteriza por identificar os animais individualmente e todo o seu histórico durante o processo de produção. Porém, este sistema não é integrado ao atual sistema de rastreabilidade dos frigoríficos, tornando demorada a recuperação de informações. A rastreabilidade na cadeia é um problema apontada pelo autores que demanda maior coordenação da cadeia para sua resolução.

Ruiz-Garcia et al. (2008) realizaram um estudo para avaliar o uso de RSSF em câmaras frigoríficas, sendo que dois experimentos foram realizados: um em laboratório e um em condições reais de campo, em uma câmara frigorífica contendo vegetais. Os autores observaram efeitos da densidade, da temperatura, da umidade relativa e do equipamento utilizado na qualidade das leituras. A principal contribuição deste trabalho é demonstrar que o uso de um *chip* contendo GPS no sensor, além de aumentar em muito seu consumo de energia, diminuindo sua vida útil, também interfere nas leituras realizadas.

## **5. USO DE RFID E RSSF NA LOGÍSTICA DE PRODUTOS PERECÍVEIS**

Uma série de trabalhos considera o uso de RFID e RSSF na logística de produtos perecíveis, porém existe uma lacuna no que diz respeito à aplicação na cadeia da carne bovina. Um estudo de Behrens et al. (2006) apresenta um sistema denominado “contêiner inteligente”, que, por meio do uso da tecnologia de RSSF, permite a coleta e monitoramento das variáveis ambientais do contêiner ao longo da cadeia, e seu envio à *web* de forma automática. O sistema também utiliza etiquetas RFID colocadas nas caixas de produto, tornando possível saber sobre em qual etapa da cadeia o produto está em qualquer momento. Também foi criado um sistema

de alarmes para avisar os usuários do sistema sobre a ocorrência de alguma anomalia.

Jedermann et al. (2010) realizaram uma análise de um sistema aplicação de RSSF na cadeia de banana para exportação. Segundo estes autores, o monitoramento de umidade relativa e temperatura ao longo da cadeia permite que a qualidade do produto seja mantida e, caso alguma anomalia seja detectada, permite a tomada de ação e realocação do produto. Segundo Jedermann et al. (2010), o uso de *data loggers* para medição de temperatura não é suficiente para atender os critérios estabelecidos atualmente pelos consumidores.

Evers et al. (2007) conceberam um modelo para acompanhamento do transporte de bananas da América para a Europa, utilizando RFID e RSSF. O sistema utiliza etiquetas e sensores nos *pallets*, que detectam se estão nos locais e sob condições corretas. Qualquer anomalia detectada, seja nas variáveis ambientais, seja na localização ou manuseio inadequado, é reportada aos usuários do sistema.

Uma revisão feita por Jedermann et al. (2010) sobre pesquisas realizadas pelos autores entre 2006 e 2009 cita as evoluções obtidas neste período, como a definição do número correto de sensores a ser utilizado dentro dos contêineres (mínimo de 8 sensores); como deve ser feita a distribuição dos sensores dentro do contêiner; os principais efeitos de problemas no sistema de resfriamento ao longo da cadeia; e a previsão da temperatura em um dado momento utilizando modelos de vida útil específicos para cada produto.

Hsueh e Chang (2010) elaboraram um modelo inovador para acompanhamento de carga altamente perecível ao longo da cadeia de suprimentos, utilizando tecnologia RFID e RSSF. O modelo proposto coleta dados de temperatura, umidade relativa e concentração de gases dentro do veículo ou contêiner e os utiliza em um modelo matemático para estimar a qualidade do produto. A partir desta estimativa, o modelo prevê qual será a qualidade que o produto terá ao chegar ao destino, e realoca a carga para outro destino caso esta possa sofrer perda de qualidade antes de chegar ao cliente original.

## **6. PROPOSTA DE MODELO DE RASTREABILIDADE PARA A CADEIA DE CARNE BOVINA**

O uso em conjunto de RSSF e RFID pode suprir as lacunas dos sistemas de rastreabilidade atuais que dizem respeito ao fornecimento de informações em tempo real que permitam o monitoramento as variáveis ambientais as quais a carga está sujeita e sua localização. Caso alguma anomalia ocorra, ultrapassando os limites estabelecidos anteriormente, a carga pode ser redirecionada a outro destino, visando evitar perdas. Este sistema evita que produtos de baixa qualidade sejam entregues aos consumidores, aumentando a confiabilidade dos mesmos nos diferentes agentes da cadeia.

O uso destes sistemas também torna possível a opção por modais de transporte alternativos, de menores velocidade e custo de frete, devido ao fato de que os produtos podem ser acompanhados e destinados aos locais corretos de acordo com sua vida útil. Isto evita futuros problemas de qualidade ou não cumprimento de contratos. Estudo de Jedermann et al. (2006) cita que sistemas que proporcionem informações em tempo real sobre qualquer etapa à qual o produto esta passando serão uma demanda do mercado no futuro, influenciando diretamente na competitividade dos países exportadores deste produto.

Aplicando os conceitos obtidos dos trabalhos citados anteriormente, que representam o estado da arte nesta área, um modelo de rastreabilidade para a cadeia da carne bovina visando exportação foi elaborado. Este pode ser ilustrado de forma simplificada na Figura 1, demonstrando que o mesmo possui oito etapas: fazenda; transporte rodoviário; abatedouro; transporte rodoviário; possibilidade de transporte ferroviário; terminal portuário de origem; transporte marítimo; terminal portuário de destino; e distribuição. Cinco aspectos importantes foram considerados nesta divisão: o equipamento de rastreabilidade a ser utilizado na etapa; como será feita a inserção de dados no sistema; como será feita a comunicação com a base de dados na *web*; e qual tecnologia será utilizada para monitorar o ambiente. Esta abordagem limita o número de modificações nas operações diárias dos diferentes elos da cadeia.

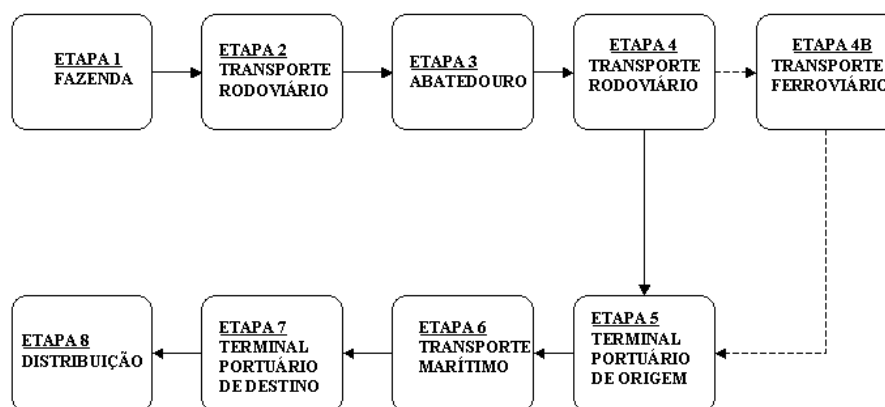


Figura 1. Simplificação do modelo proposto para a rastreabilidade da cadeia de carne bovina.  
Fonte: os autores, 2011.

A Figura 2 apresenta o modelo com mais detalhes.

A primeira etapa consiste na produção animal na fazenda, até o momento em que o animal será transportado ao abatedouro. Dentro da unidade de produção pecuária, os animais receberão brincos com números para sua identificação e o histórico do animal será atrelado ao seu número de identificação. Este número também é inserido no SISBOV, visando integrá-lo ao sistema de rastreabilidade do Governo Federal.

O principal equipamento de rastreabilidade, na Etapa 1 consiste no brinco de identificação de cada animal. A inserção dos dados é manual, e ocorre dentro da fazenda. Após os dados serem inseridos no computador central da fazenda, estes são enviados à *web*, para o banco de dados do sistema proposto. Na Figura 2, observa-se que as etapas enviam as informações a uma nuvem. Esta representa um sistema *online* de inserção de dados que pode interagir com os diferentes sistemas de rastreabilidade dos diferentes elos da cadeia, pelo fato de ser uma plataforma altamente flexível. Por sua vez, o monitoramento do ambiente nesta etapa é realizado utilizando dados de estações meteorológicas na fazenda.

A segunda etapa consiste no transporte do animal da fazenda para o abatedouro. O equipamento de rastreabilidade utilizado continua sendo o brinco de identificação animal, porém os dados são inseridos no sistema tanto na saída da fazenda (ação denominada expedição) quanto na chegada no abatedouro (ação denominada recebimento), havendo uma conferência dos dados nesta etapa. O abatedouro possui uma rede de sensores que coleta



dados de temperatura e umidade relativa e, em conjunto com os dados dos brincos de identificação, são transferidos para a base de dados na *web* utilizando a rede WLAN (*Wireless Local Area Network*) do abatedouro.

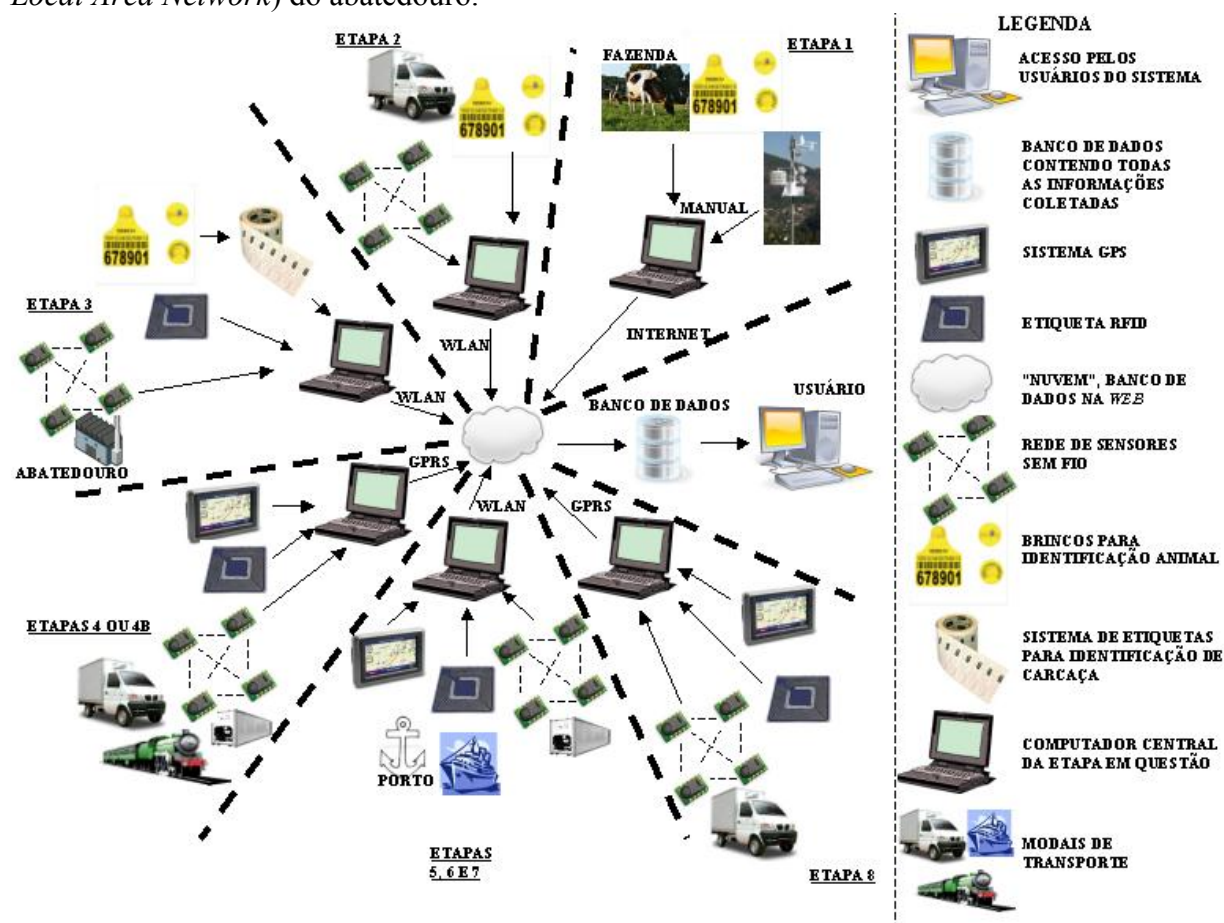


Figura 2. Detalhamento do modelo de rastreabilidade proposto para a cadeia da carne bovina.  
Fonte: os autores, 2011.

A terceira etapa diz respeito às operações dentro do abatedouro, e pode ser dividida em três sub-etapas: abate do animal (A), desmembramento e separação de cortes, com possibilidade de processamento (B) e carregamento das caixas no contêiner (C). Nas sub-etapas A e B, a RSSF do abatedouro irá monitorar as variáveis ambientais e, na sub-etapa C, oito sensores são colocados dentro do contêiner e começam o monitoramento de temperatura, umidade relativa, luminosidade e vibração.

Ao ser abatido, o animal recebe uma etiqueta de informação na carcaça, que possui o número do brinco de identificação do mesmo. Após a sub-etapa B, com o produto já em caixas, etiquetas RFID são colocadas nas mesmas, e uma etiqueta é colocada no contêiner durante a sub-etapa C. Um leitor de RFID no carregamento do contêiner irá ler as informações das etiquetas das caixas e do contêiner durante o carregamento do mesmo. Todos os dados coletados durante a Etapa 3 são enviados à base de dados na *web* utilizando a rede WLAN do abatedouro. A coleta dos mesmos ocorre de forma automática a partir do momento em que as etiquetas RFID são colocadas nas caixas.

Na Etapa 4, o contêiner de produto é transportado do abatedouro para o terminal portuário de

origem, ou seja, o porto nacional que irá escoar o mesmo. Os equipamentos de rastreabilidade usados nesta etapa são as etiquetas RFID e a RSSF no contêiner. Os dados são coletados automaticamente em intervalos pré-determinados, e enviados ao banco de dados na *web*, utilizando tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*, uma das tecnologias utilizadas para a transmissão de dados na telefonia celular). As variáveis monitoradas a partir desta etapa dizem respeito à temperatura, umidade relativa, luminosidade e vibração.

A Etapa 4B é uma possibilidade ainda não utilizada pela cadeia, e que se acredita ser possível caso haja tecnologia adequada para acompanhar a qualidade da carga ao longo do percurso. Esta é caracterizada pelo transporte ferroviário a partir de um terminal de transbordo rodoferrviário até o terminal portuário de origem. Para atingir o terminal de transbordo, é necessário fazer o transporte rodoviário do contêiner. As características do sistema são exatamente as mesmas da Etapa 4.

Na Etapa 5, o produto atinge o terminal portuário de origem, e será colocado no navio, com destino ao terminal portuário de destino. Nesta etapa, ocorre a leitura das etiquetas RFID tanto na chegada do pátio de contêineres quanto no carregamento no navio, e os dados obtidos durante esta etapa são transmitidos ao banco de dados na *web* utilizando a rede WLAN do terminal portuário.

A Etapa 6 é caracterizada pelo transporte marítimo entre o terminal portuário de origem e o terminal portuário de destino. É necessário que um computador seja instalado no navio para que os dados possam ser transmitidos, através de uma rede WLAN, ao banco de dados na *web*. Também existe a possibilidade de se utilizar o sistema de computadores do navio para esta tarefa.

Na Etapa 7, o produto atinge o terminal portuário de destino, e é descarregado do navio para o pátio de contêineres. Leitores de RFID no recebimento e na expedição do contêiner (ou dos produtos do mesmo, caso as caixas do contêiner sejam descarregadas) irão transmitir, por meio da rede WLAN do terminal portuário, a localização das caixas ao banco de dados na *web*. Os produtos serão retirados do contêiner caso o terminal também atue como centro de distribuição. Caso contrário, o contêiner segue para um centro de distribuição para ser descarregado. Em ambos os casos, o centro de distribuição precisa ter leitores RFID no recebimento e na expedição da carga, e uma RSSF para monitorar a temperatura e a umidade relativa do local.

O contêiner vazio, após o descarregamento, é encaminhado pelo armador para o pátio de contêineres vazios mais próximo. Devido ao fato de este contêiner possuir uma etiqueta RFID, a logística dos contêineres vazios se torna mais fácil para o armador.

A última etapa é constituída pela distribuição do produto do centro de distribuição às unidades de varejistas ou atacadistas. Uma RSSF com oito sensores é permanentemente montada no caminhão refrigerado, sendo que este também possui uma etiqueta RFID. Os produtos são carregados e, através de tecnologia GPRS, o caminhão se comunica com o banco de dados na *web*.

Este modelo, ao contrário do proposto por Sima et al. (2009), permite o monitoramento *online* da carga, além de ser mais detalhado. Caso alguma anomalia seja detectada, é possível

analisar o caso a tempo, fornecendo melhores ferramentas para os tomadores de decisões. Os autores estão atualmente refinando o modelo por meio de *entradas* dos principais agentes da cadeia e adaptando-o para o uso em situações reais, no formato de um protótipo. Os próximos passos da pesquisa envolvem a simulação utilizando softwares específicos, como o ARENA, e o levantamento do custo de implementação e utilização do sistema. Após estas etapas, o modelo irá também incorporar a cadeia de carne bovina para o mercado interno, que possui uma série de particularidades.

As principais limitações observadas dizem respeito à: falta de informações disponíveis no meio acadêmico com relação a esta cadeia; falta de pesquisas visando a rastreabilidade de produtos perecíveis nas condições brasileiras; a complexidade da cadeia de carne bovina; e a falta de padronização da metodologia e das tecnologias utilizadas.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A rastreabilidade está se tornando um componente essencial para a manutenção da competitividade dos países no mercado mundial. As cadeias de suprimentos de produtos alimentícios são as mais afetadas, devido à possibilidade de rastreamento de focos de doenças e mesmo da possibilidade de evitar que estas ocorram.

Para que a rastreabilidade possa ser atingida de forma satisfatória, é necessário o uso de tecnologias adequadas, que permitam a sua implementação e manutenção de forma a não alterar de forma marcante as operações realizadas pelas empresas atualmente. Duas tecnologias que, em conjunto, se mostram promissoras, são RFID e RSSF. A primeira, como foi mostrada no texto, permite a localização da carga em cada etapa, além de armazenar informações de seu histórico com relação a processos. A segunda, ajuda na coleta e transmissão de variáveis ambientais, fator essencial para estimar a qualidade do produto e evitar problemas com a mesma.

O modelo proposto aplica estas duas tecnologias na cadeia da carne bovina, englobando todas as etapas, da produção do animal na fazenda brasileira até a unidade de atacado ou varejo do país de destino. Este também possibilita a inclusão e o acesso aos dados em tempo real, por qualquer usuário. Acredita-se que este sistema será uma necessidade para todas as cadeias agrícolas brasileiras, demonstrando a importância de trabalhos pioneiros na área.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. C. P. (2008) *Abordagem Semântica Aplicada ao Gerenciamento de Dados em Redes de Sensores sem Fio*. Dissertação de mestrado, POLI/USP, São Paulo, SP.
- Ballou, R. H. (2006) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*. Editora Bookman, Porto Alegre, RS.
- Behrens, C.; M. Becker; J. D. Gehrke; D. Peters e R. Laur (2006) Wireless sensor networks as an enabler for cooperating logistic processes. *Proceedings of the ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks*, REALWSN'06, p. 85-86.
- Bowersox, D. J.; D. J. Closs e D. J. Cooper (2002) *Supply Chain Logistics Management*. McGraw-Hill Publisher, New York, USA,.
- CEPEA. (2011) *PIB do Agronegócio 2010*. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Chopra, S. e P. Meindl (2010) *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (4ªed.). Pearson Education, New Jersey, USA.
- Cooper, D. R. e P. S. Schindler (2001) *Métodos de Pesquisa em Administração* (7ªed.). Bookman, Porto Alegre, RS.

- Daskin, M. S. (1985) Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research, *Transportation Research - A*, v.19A, n.5/6, p.383-393.
- Evers, L.; P. J. M. Havinga; J. Kuper; M. E. Lijding e N. Meratnia (2007) Sensorscheme: supply chain management automation using wireless sensor networks. *Proceedings of the 12th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, ETFA, Patras, Greece, p. 448-455.
- Glisic, S. e B. Lorenzo (2009) *Advanced Wireless Networks* (2<sup>ed.</sup>). John Wiley & Sons Publishing Company, United Kingdom.
- Hsueh C. e M. Chang (2010) A model for intelligent transportation of perishable products. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, n. 8, p. 36-41.
- Jedermann, R. e W. Lang (2009) The minimum number of sensors – interpolation of spatial temperature profiles in chilled transports. *Proceedings of the 6th European Conference on Wireless Sensor Networks*, EWSN, p. 232-246.
- Jedermann, R.; A. Moehrke e W. Lang (2010) Supervision of banana transport by the intelligent container. *Proceedings of the 4th International Workshop on Coolchain-Management*. University Bonn, Bonn, Germany, p. 75-84.
- Jedermann, R.; C. Behrens; D. Westphal e W. Lang (2006) Applying autonomous sensor systems in logistics – combining sensor networks, RFIDs and software agents. *Sensors and Actuators A*, v. 132, p. 370-375.
- Juran, J. M. e A. B. Godfrey (1999) *Juran's Quality Handbook* (5<sup>ed.</sup>). McGraw-Hill Publisher, USA.
- Kelepouris, T.; K. Pramataris e G. Doukidis (2007) RFID-enabled Traceability in the Food Supply Chain. *Industrial Management & Data Systems*, v. 107, n. 2, p. 183-200.
- Machado, J. G. C. F. e J. F. D. Nantes (2004) A visão institucional do processo de rastreabilidade da carne Bovina. *Anais do 1º Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de informação e comunicação na agropecuária*, Santarém, Portugal, 11 p.
- MDIC/SECEX (2011) *Sistema AliceWeb*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brasília, DF.
- Ruiz-Garcia, L.; P. Barreiro e J. I. Robla (2008) Performance of ZigBee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics. *Journal of Food Engineering*, v. 87, p. 405-415.
- Ruiz-Garcia, L.; P. Barreiro; J. Rodriguez-Bermejo e J. I. Robla (2007) Review. Monitoring the intermodal, refrigerated transport of fruit using sensor networks. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v. 5, n. 2, p. 142-156.
- Scavarda, L. F.; C. Nogueira Filho e V. Kraemer (2005) RFID na logística: fundamentos e aplicações. *Anais do XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, ENEGEP, Porto Alegre, RS, p. 954-961.
- Scheer, P. P. (2006) Optimizing supply chains using traceability systems. In: Smith, I. e A. Furness (eds.) *Improving traceability in food processing and distribution*. Cambridge, United Kingdom.
- Shackell, G. H. (2008) Traceability in the meat industry – the farm to plate continuum. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 43, p. 2134-2142.
- Silva, R. F. (2009) *Caracterização logística dos corredores de exportação de carne bovina brasileira*. Trabalho de Conclusão de Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônoma no Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial, ESALQ-LOG. ESALQ/USP, Piracicaba, SP.
- Sima, A. F.; M. T. Leão e R. N. Benito (2009) Rastreabilidade na cadeia produtiva bovina: uma forma de agregar valor ao produto final e de reduzir os impactos das barreiras fitossanitárias. *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática*, SBIAGRO, Viçosa, MG.
- Sliva, I. J. (2008) Technologies used in wireless sensor networks. *15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, IWSSIP, p. 77-80.
- Smith, G. C.; D. L. Pendell; J. D. Tatum; K. E. Belk e J. N. Sofos (2008) Post-slaughter traceability. *Meat Science*, v. 80, p. 66-74.
- Souza Filho, H. M.; F. T. Rosa e M. M. B. Vinholis (2008) Diagnóstico e recomendações para aumento da competitividade da cadeia produtiva da carne bovina do estado de São Paulo. *Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, SOBER, Rio Branco, Acre.
- Srivastava, B. (2004) Radio frequency ID technology: the next revolution in SCM. *Business Horizons*, v. 47, n. 6, p. 60-68.
- Vinholis, M. M. B. e P. F. Azevedo (2002) Segurança do alimento e rastreabilidade: o caso BSE. *RAE electron. [online]*, vol.1, n.2, p. 02-19.
- Wilson, T. P. e W. R. Clarke (1998) Food safety and traceability in the agricultural supply chain: using the Internet to deliver traceability. *Supply Chain Management*, v. 3, n. 3, p. 127-133.