

MODELO PARA A RASTREABILIDADE DO AÇÚCAR UTILIZANDO IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA, REDE DE SENSORES SEM FIO E INTERNET DAS COISAS

José Henrique Leite Rodrigues

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Logísticos
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Carlos Eduardo Cugnasca

Professor Associado 3 do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de um modelo para a rastreabilidade da cadeia de suprimentos dos principais tipos de açúcar produzidos a partir da cana de açúcar: o cristal, o refinado e o bruto. Inicialmente, apresenta as razões da opção pela pesquisa sobre a cadeia do açúcar, referenciada ao contexto agrícola brasileiro. Em seguida, conceitos básicos sobre sistemas de rastreabilidade são introduzidos. Levando-se em conta pesquisas bibliográficas sobre o tema, são introduzidos conceitos das tecnologias de identificação por radiofrequência, das redes de sensores sem fio e das padronizações do tratamento dos dados do sistema. Tratadas as bases teóricas dos diversos elementos constituintes de um sistema de rastreabilidade de produto agrícola, define-se o modelo a ser proposto descrevendo-se suas etapas, da produção da cana ao consumo do açúcar. O trabalho é concluído apresentando-se seus resultados e conclusões, tecendo-se considerações importantes à serem levadas em conta na implementação do modelo.

ABSTRACT

This work presents a proposal of a model for the traceability of the supply chain of major types of sugar produced from sugar cane: crystal, refined and crude. Initially, presents the reasons for the choice of the research on the sugar chain, when referenced to the Brazilian agricultural context. After, basics traceability systems are introduced. Given bibliographic research on the topic, introduces the macros concepts of radiofrequency identification technology, the wireless sensor networks and standardization regarding the treatment of data from traceabilities systems. Treated the theoretical bases of the various constituent elements of a traceability system of agricultural product, defines the model being proposed is describing its stages, from production to consumption of sugar cane. We conclude this work by presenting their findings and conclusions, weaving important considerations to be taken into account in the implementation of the model.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014), em Junho de 2014, as exportações dos agronegócios brasileiro atingiram US\$ 9,61 bilhões, sendo US\$ 867 milhões referentes ao setor sucroalcooleiro. Destes, os negócios com açúcar corresponderam a US\$ 755 milhões. Considerando os últimos 12 meses (Julho de 2013 à Junho de 2014), esses valores chegam a US\$ 99,51 bilhões, US\$ 11,98 bilhões e US\$ 10,35 bilhões, respectivamente. Em termos de toneladas do produto, as exportações do açúcar atingiram 1,86 milhões de toneladas em Junho de 2014 e 25,46 milhões de toneladas nos últimos 12 meses.

Observam-se com os dados apresentados na Figura 1, que as exportações de açúcar representaram aproximadamente 67,56% nos últimos 12 meses da produção brasileira desse produto e que, referente às áreas ocupadas com as lavouras para a produção da cana de açúcar, mesmo conservando uma distância considerável da Amazônia, ainda resta uma grande área que poderia ser cultivada no sentido de se aumentar esses números.

Aung e Chang (2014) citam que atualmente no mercado global muitos consumidores têm preocupações quanto à qualidade dos produtos que compram e consomem. Isso decorre da

maior possibilidade de fraudes e da eventual falta de qualidade na produção e manuseio desses produtos, constatado principalmente com a ocorrência de muitas doenças pela ingestão de comidas mal acondicionadas e transportadas em péssimas condições.

Produção de Açúcar, 2013/2014

Unidade: Mil toneladas

Estado/Safra	2013/2014	PeríodoSafra
São Paulo	23.962	Abr-Mar
Minas Gerais	3.411	Abr-Mar
Paraná	3.037	Abr-Mar
Goiás	1.891	Abr-Mar
Mato Grosso do Sul	1.368	Abr-Mar
Mato Grosso	418	Abr-Mar
Espírito Santo	123	Abr-Mar
Rio de Janeiro	84	Abr-Mar
Rio Grande do Sul	0	Abr-Mar
Santa Catarina	0	Abr-Mar
Região Centro-Sul	34.293	
Alagoas	1.726	Set-Ago
Pernambuco	1.180	Set-Ago
Paraíba	77	Set-Ago
Rio Grande do Norte	123	Set-Ago
Sergipe	105	Set-Ago
Bahia	94	Mai-Abr
Piauí	52	Mai-Abr
Pará	32	Set-Ago
Amazonas	15	Mai-Abr
Maranhão	11	Mai-Abr
Acre	0	Mai-Abr
Ceará	0	Mai-Abr
Rondônia	0	Mai-Abr
Tocantins	0	Mai-Abr
Região Norte-Nordeste	3.415	
Brasil	37.708	

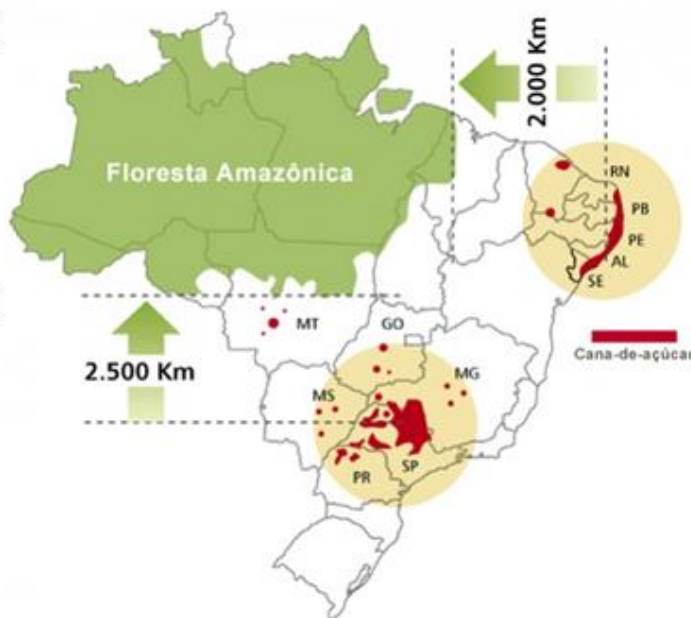


Figura 1: Produção de açúcar, safra 2013-2014 (adaptado de UNICADATA, 2014) e mapa de produção da cana de açúcar, no Brasil (adaptado de UNICA, 2014)

Ressaltam esses autores, que com o avanço da computação ubíqua e a partir da popularização dos *smartphones*, devido a sua portabilidade, mobilidade, acessibilidade à Internet e suporte aos mais diversos aplicativos, tem havido um aumento significativo da demanda por informações em tempo real sobre os produtos comprados e consumidos, principalmente no momento da decisão de que produtos comprar. Essa demanda, implica numa maior disponibilidade dos dados desses produtos, o que se tem tornado cada vez mais uma vantagem competitiva no marketing da indústria da alimentação, para as empresas que suprem essa demanda.

Para disponibilizar os dados dos produtos, de forma que os consumidores os acessem no momento da sua compra, ou quando acharem necessário, principalmente no tocante às informações dos critérios de avaliação da qualidade, localizações e processos aos quais os produtos foram submetidos, adota-se um *sistema de rastreabilidade*.

Estão disponíveis na literatura inúmeras definições de sistema de rastreabilidade. Baseando-se no trabalho de Bosona e Gebresenbet (2013), que após uma revisão em 74 trabalhos a respeito, propuseram uma definição bastante completa, pode-se considerar que: *a rastreabilidade de alimentos é a parte da gestão da Logística que captura, armazena e transmite informações adequadas sobre uma comida, sobre alimentação, sobre a produção de alimentos de origem animal ou substâncias, em todos os estágios da cadeia de*

fornecimento de alimentos (FSC, do inglês food supply chain), possibilitando que o produto possa ser verificado quanto aos controles de qualidade e segurança, rastreado no sentido montante (do produtor ao consumidor) e monitorado no sentido jusante (do consumidor ao produtor), à qualquer momento, quando necessário.

Segundo Machado (2005), um sistema de rastreabilidade caracteriza-se pelo fluxo físico, referente ao fluxo do produto, pelo fluxo da informação e pela identificação do produto que tem a função de ligar o fluxo do produto ao fluxo da informação. A Figura 2 apresenta o fluxo de informação, o fluxo de produto e respectivos monitoramento e rastreamento refletindo o caso de um FSC.

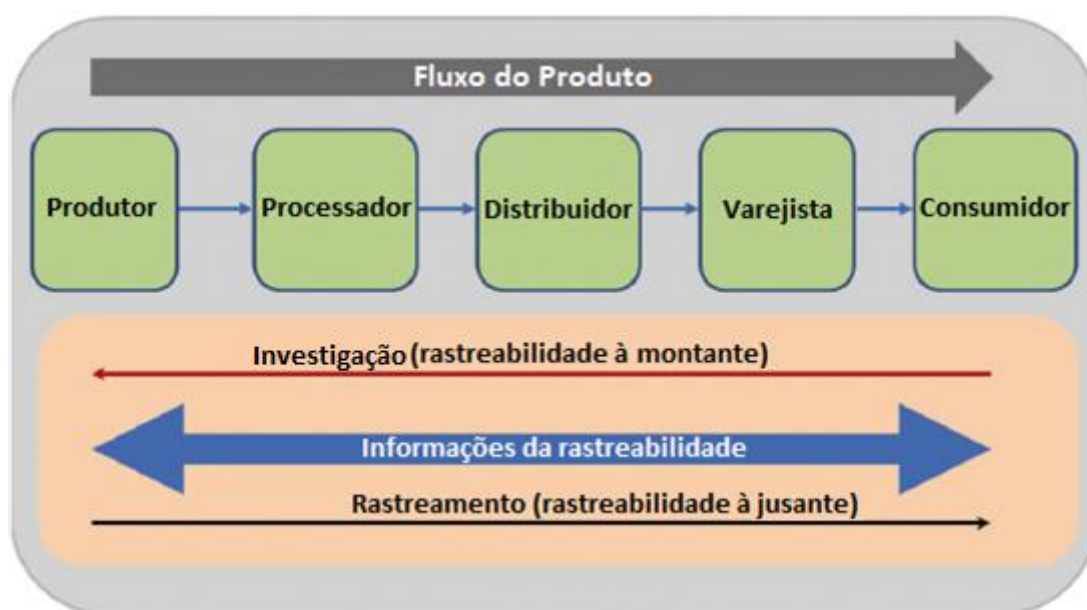


Figura 2: Representação do fluxo de produto e das informações de monitoramento e rastreamento (adaptado de Bosona e Gebresenbet, 2013).

Necessidade fundamental de sistemas de rastreabilidade, a identificação do produto deve ser unívoca. A tecnologia que tem se revelado como a mais adequada para suprir essa necessidade é a da identificação por radiofrequência (RFID, abreviação do inglês *Radio Frequency IDentification*).

Em se tratando de alimento, as condições ambientais em que o açúcar de cana foi produzido, processado ou manipulado, devem também ser registradas ao longo da cadeia. Para isso, a utilização da rede de sensores sem fio (RSSF), sobretudo com sensores de temperatura, umidade e luminosidade, é a mais adequada.

Segundo Silva e Cugnasca (2011), depois de Juran e Godfrey (1999), sistemas de rastreabilidade devem contar com um sistema de informações que permita os diferentes usuários nos diferentes elos da cadeia, acessarem as informações com relação aos locais pelos quais o produto foi movimentado, quais foram os processos a que este foi submetido e seu histórico. Ou seja, o sistema necessita de tecnologias para a coleta, processamento e transmissão de dados de forma automática.

Sistemas de rastreabilidade somente podem atingir seus objetivos a nível global se forem

desenvolvidos utilizando padrões de interoperabilidade, o que possibilita o desenvolvimento de aplicativos não importando onde o consumidor utilizará. O padrão global de sistemas de rastreabilidade GS1 é um padrão que permite a utilização dos dados do sistema de rastreabilidade independentemente da tecnologia adotada (Aung e Chang, 2014).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de um modelo de um sistema que permita a rastreabilidade de toda a cadeia do açúcar, com transmissão de dados em tempo real, utilizando tecnologias atuais, sobretudo, a tecnologia de identificação por radiofrequência, a tecnologia das redes de sensores sem fio e o padrão global GS1. Acredita-se que pela abrangência do modelo, pelas tecnologias a serem utilizadas e pela padronização dos dados, esse modelo diferencia-se positivamente dos modelos já sugeridos para a rastreabilidade da cadeia de suprimentos do açúcar de cana.

Nessa introdução, procurou-se mostrar o interesse em se focar o trabalho na produção do açúcar, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais, o setor sucroalcooleiro é o terceiro em termos de exportação nos agronegócios e o país tem ainda condições de aumentar substancialmente a área de plantio e a produção do açúcar de cana.

No item 2, apresenta-se uma breve revisão das tecnologias citadas; no item 3, os materiais e métodos utilizados para a pesquisa; por se tratar de uma proposta de modelo, essa apresentação é bastante sucinta; no ítem 4, apresenta-se os Resultados e Discussões e no ítem 5, as Conclusões e algumas considerações finais são apresentadas.

2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA RASTREABILIDADE

2.1. Identificação por Radiofrequência

A possibilidade de se atribuir a cada produto um código único, gravado em uma etiqueta de baixo custo, rápida e facilmente registrável por hardware relativamente barato, tem grande potencial de utilização em um dos desafios clássicos da logística que é o do registro e análise do fluxo de partes e produtos ao longo das cadeias produtivas (Gogliano-Sobrinho e Cugnasca, 2013 depois de McFarlane e Sheffi, 2003). A automação deste processo evita problemas ocasionados por operações manuais que podem levar ao registro incorreto e à perda ou adulteração de informações essenciais para a rastreabilidade nas cadeias produtivas (Gogliano-Sobrinho e Cugnasca, 2013).

Basicamente, RFID é constituído por identificadores (chamados *tags* ou etiquetas de RFID), leitores para comunicação com as etiquetas, controladores e softwares para gestão de dados (Hsueh e Chang, 2010).

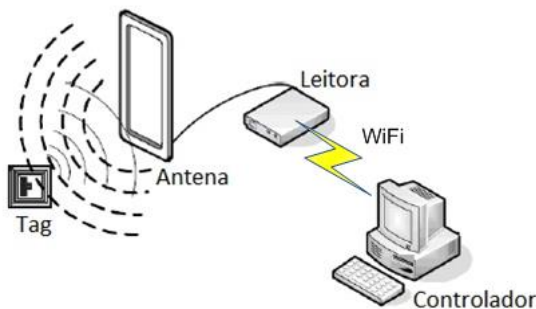


Figura 3: Sistema típico de identificação por RFID (adaptado de: Atlas Store, 2014).

Etiquetas são dispositivos constituídos por um circuito eletrônico, com capacidade de processamento, armazenamento e um rádio de comunicação, montados em um substrato para sua sustentação mecânica. Existem diversos tipos de etiquetas que podem ser classificadas conforme sua capacidade de processamento, de quantidade de memória e do alcance da leitura. Na Figura 4 são apresentados alguns tipos de encapsulamentos de etiquetas, especialmente desenvolvidos para aplicações em ambientes como o da agricultura, devido às especificidades dos produtos a serem rastreados, ao ambiente hostil e severo e a implantação em animais.

De acordo com sua fonte de alimentação, as etiquetas podem ser:

- *Ativas* possuem bateria própria, o que lhes propicia mais energia para a comunicação com a leitora e conseqüentemente maior alcance em relação aos que não são alimentados por bateria, tendo como desvantagem uma menor vida útil.
- *Passivas*, possuem circuitos que retiram a energia do sinal recebido da leitora para alimentar o chip e providenciar energia para a comunicação, tendo por isso um menor alcance, mas uma vida útil de muitos anos.
- *Semi-passivas*, possuem bateria para uso no processamento interno e absorvem uma parcela da energia do sinal recebido suficiente para alimentar os circuitos de comunicação, enviarem a resposta. Com isso, aumentam o alcance da comunicação e aumentam o tempo de vida útil da bateria.



Figura 4: Etiquetas para aplicação na agricultura (adaptado de: Furlaneto e Manzano, 2010).

A utilização de sinais de rádio implica em modulação, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas. Como são muito sensíveis ao *meio*, as perdas envolvidas, que caracterizarão as taxas de leituras falsas, ou mesmo inexistente, determinarão as distâncias de utilização (Passaretti, 2008).

2.2. Rede de sensores sem fios

Sensores são usados para coletar informações sobre atributos ambientais e físicos. A utilização de sensores está se tornando possível em quase todos os campos do conhecimento, devido aos avanços em sua tecnologia e redução de tamanho, inclusive para o sensoriamento em organismos vivos (bio-sensores) (Aqeel-ur-Rehman et al, 2014).

Sensores sem fio possuem circuito *transceiver* e antena, os quais lhes possibilitam receber e transmitir sinais de rádio. Entre as tecnologias de rádio mais utilizadas em sensores sem fio estão: *ZigBee* (padronizado pela ZigBee Alliance e aderente à IEEE 802.15.4), *Bluetooth* (gerenciado pelo Bluetooth Special Interest Group aderente à IEEE 802.15.1) e *WiFi* (padronizado pela Wi-Fi Alliance, aderente à norma IEEE 802.11) (Fornazier et al, 2012). Uma rede de sensores sem fios (RSSF), se caracteriza pela interconexão, via sinais de rádio,

de uma grande quantidade de sensores sem fios, entre si e a um dispositivo capaz de disponibilizar os dados recebidos dos sensores a uma base local de dados que então são transferidos a uma base de dados central (remota). Esse dispositivo desempenha a função de *gateway*. A Figura 5 apresenta uma ilustração de uma rede sem fios, na qual cada sensor é um nó da rede.

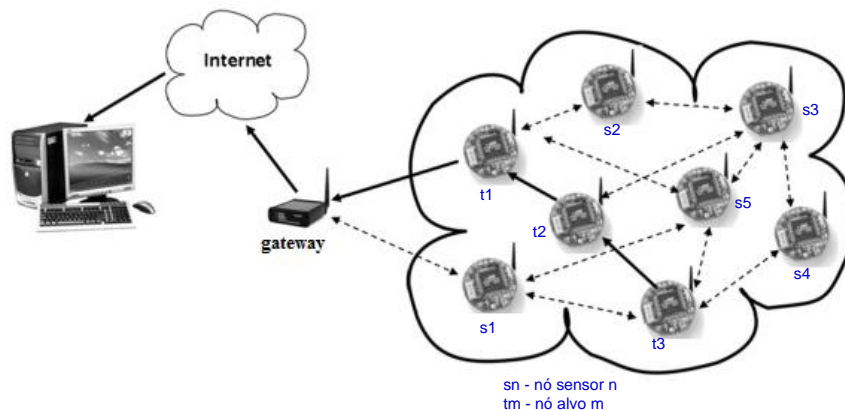


Figura 5: Arquitetura típica de uma rede de sensores sem fios (adaptado de Aqeel-ur-Rehman e al, 2014).

2.3. Internet das Coisas

O surgimento das RSSF, e sua rápida proliferação, com condições para se medir, inferir e entender indicadores ambientais, tem provocado um avanço da computação ubíqua, mudando o paradigma de comunicação para uma verdadeira internet das coisas (IoT, da sigla em inglês de *Internet of Things*). Com o amadurecimento da IoT, espera-se que essa nova tecnologia revolucionará a Internet surgindo uma Internet totalmente integrada no futuro (Gubbi e Buyya, 2013). IoT em conjunto com RFID, muda o paradigma da implantação de sistemas de rastreabilidade, por possibilitarem a todos os elementos de controle se comunicarem de forma unívoca.

2.4. Padrão GS1

O modelo proposto nesse trabalho, pretende ser aderente aos padrões da EPC Global (EPC Global, 2013). Portanto, o formato dos dados deverá ser o código eletrônico de produtos (EPC do inglês, *Electronic Products Code*), apresentado na Figura 6.



Figura 6: EPC tipo 1 (adaptado de Leme, 2009).

O EPC possui os seguintes campos: cabeçalho (*Header*): identifica o comprimento, o tipo, a estrutura, a versão e a geração do EPC; o responsável pelo EPC (*EPC Manager*): normalmente é um código referente ao fabricante do produto; a identificação do produto (*Object Class*) e o número de série do produto (*Serial Number*).

Caso o acesso aos dados seja feito via internet, pode-se implementar *web services* baseados no *Electronic Products Code Information Services* (EPCIS), definido na EPC Global (Parreño-Marchante et al, 2014).

A EPC Global define ainda, um software para o *middleware*, chamado *Savant*, servidores de nomes de objetos (ONS do inglês *object name server*) e os serviços de descoberta de EPCs (EPCDS, do inglês *Electronic Products Code Discovery Services*). No sentido de se padronizar uma rede de processamento aplicada a sistemas utilizando identificadores EPC, a EPC Global, em associação com o Massachusetts Institute of Technogie (MIT), criou o EPC Global Network (ilustrada na Figura 7).

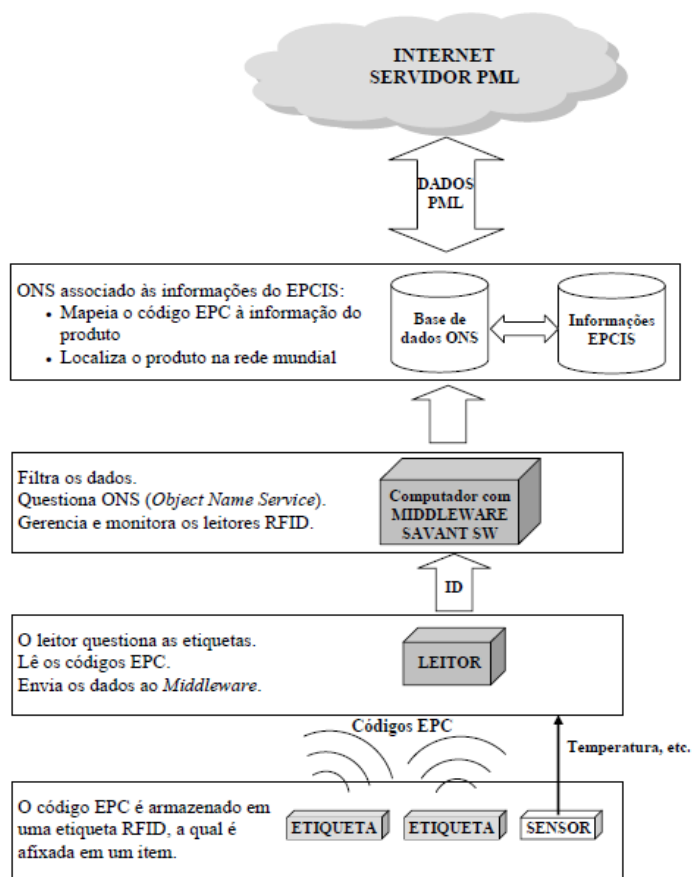


Figura 7: Arquitetura da rede EPCglobal Network (adaptado de Leme, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Cooper e Schindler (2001), o presente artigo pode ser considerado 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.

Após a definição sobre o tema a ser abordado, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica para a obtenção do conhecimento sobre o estado da arte referente ao tema definido. Foram pesquisados os sistemas de rastreabilidade já implantados ou em pesquisa, como por exemplo, o sistema de rastreabilidade da carne bovina, o sistema de rastreabilidade do vinho e outros; a cadeia de suprimentos do açúcar; a tecnologia RFID, as etiquetas RFID mais utilizadas, os leitores RFID; a tecnologia da RSSF, os sensores e dispositivos correlatos.

De posse desse conhecimento, concluiu-se pela elaboração de uma proposta de um modelo de rastreabilidade que abrangesse a cadeia de produção do açúcar completa.

Para a elaboração da proposta do modelo, foram necessárias pesquisas bibliográficas complementares, no sentido da caracterização dos processos constitutivos da cadeia de produção do açúcar e o estudo de que materiais usar a cada Etapa do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Do processamento da cana-de-açúcar, obtém-se, entre outros tipos, o açúcar refinado, o açúcar cristal e o açúcar bruto (tipos VHP, do inglês *Very High Polarization* e VVHP, do inglês *Very VHP*). O açúcar refinado e o cristal podem ser consumidos diretamente pela indústria ou pelo consumidor final, mas o açúcar bruto necessita de um processo de purificação para a eliminação de substâncias tóxicas adquiridas no seu processamento (Silva e Cugnasca, 2011; Silva et al, 2010).

O açúcar refinado e o cristal são utilizados principalmente no mercado interno, por meio de vendas no varejo e o açúcar bruto é exportado (Silva e Cugnasca, 2011). Das exportações dos açúcares produzidos a partir da cana, 54,96% são exportados para países da Ásia (com destaque para a China) e 28,44% para países da África (com destaque para a Nigéria e Egito), conforme UNICA (2014), dados referentes à safra de 2013/2014.

Como o açúcar refinado e o açúcar cristal estão prontos para o consumo logo após sua produção, seu transporte exige cuidados especiais para a manutenção de sua qualidade ao longo da cadeia. O açúcar refinado é empacotado em sacos com capacidades entre 100 e 200 kg (*big bags*) e o cristal em sacos de 50 kg, para serem transportados pelo modal rodoviário. A produção para o mercado interno, é transportada até as indústrias nas quais serão usados como insumo, ou até os empacotadores que separarão o produto em sacos menores mais apropriados para vendas ao consumidor e enviados aos varejistas. A produção para a exportação, é transportada até os armazéns na área portuária onde são transferidos para contêineres, que são então enviados à um terminal no porto para embarque em navios (Silva et al, 2010 e Santos et al, 2013).

O açúcar bruto é transportado a granel pelo modal rodoviário (majoritariamente), pelo ferroviário, ou pelo hidroviário. Devido ao interesse de se diminuir os custos do frete, investimentos estão sendo feitos em terminais de transbordo, em novos armazéns e na modernização de antigos armazéns, no sentido de se utilizar os modais hidroviário, que apresentam a maior eficiência energética e o menor custo, e o ferroviário (Santos et al, 2013).

Um possível modelo de rastreabilidade para a cadeia de suprimentos do açúcar é representado na Figura 8.

Na Etapa 1, durante a Produção da cana de açúcar e na Etapa 2, durante o processamento da mesma, os sensores instalados, enviarão os dados referentes a temperatura, umidade e luminosidade, automaticamente e periodicamente, ao sistema de base de dados via um *gateway* (equipamento que envia eletronicamente, os dados recebidos, a um outro equipamento, local ou remoto). Os sensores da Etapa 2 não precisarão funcionar à bateria, como provavelmente o serão na Etapa 1 e portanto, poderão ser de concepção mais simples.

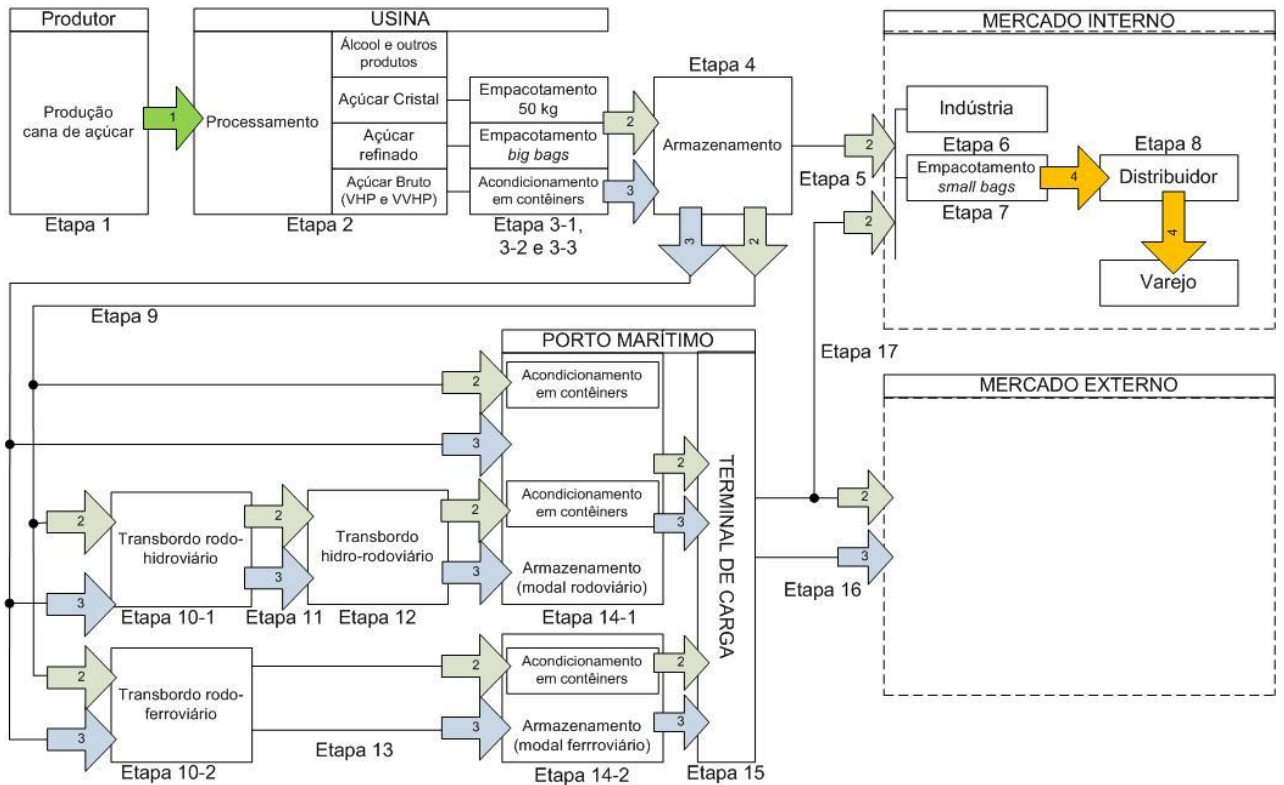


Figura 8: Modelo de rastreabilidade para a cadeia de suprimentos do açúcar (elaborado pelos autores).

A Etapa 3, foi subdividida em três sub-etapas, sendo uma para cada tipo de açúcar. Nas 3 sub-etapas, o processo será o mesmo: fixação de etiquetas adequadas ao tipo de acondicionamento para a identificação do respectivo produto (sacos, big bags e contêineres, respectivamente). Nas três sub-etapas, as etiquetas serão cadastradas no sistema, o que quer dizer que haverá pelo menos um ponto de acesso à base de dados local na Etapa 3.

Nas etapas de armazenamento, 4, 8, 14-1 e 14-2, as etiquetas dos sacos de açúcar e dos contêineres serão lidas e seus dados protocolados quanto à data e hora tanto na entrada, como na saída do armazém. Durante o tempo de armazenamento, os sensores de mesmo tipo que os da Etapa 2, permanecerão periodicamente monitorando suas respectivas grandezas e enviando suas leituras à base de dados local.

Nas etapas de transporte, 5, 9, 11, 13, 16 e 17, durante o transporte, os sensores estarão monitorando as suas grandezas e armazenando-as ou enviando-as à base de dados. Nas etapas 5, 9, 11 e 13, que utilizarão o modal rodoviário, não haverá necessidade da leitura dos tags. Na Etapa 16, transporte utilizando o modal hidroviário marítimo e na 17, utilizando o modal hidroviário de cabotagem, as etiquetas dos sacos de açúcar e dos contêineres serão lidas e seus dados protocolados quanto a data e hora tanto na carga, como na descarga.

Na Etapa 6, na recepção na indústria, as etiquetas serão lidas e seus dados enviados à base de dados.

Na Etapa 7, na recepção da empresa que desempacotará os produtos e os reempacotará em sacos menores, as etiquetas serão lidas e seus dados enviados à base de dados. Quando do empacotamento em sacos menores, cada saco receberá uma nova etiqueta, que será cadastrada

e protocolada na base de dados.

A Etapa 10 foi sub-dividida em sub-etapas 10-1 transbordo rodoviário/ferroviário e 10-2 transbordo rodoviário/hidroviário. Em ambas, tanto na entrada como na saída as etiquetas serão lidas e seus dados enviados à base de dados.

Na Etapa 15, o armazenamento no terminal de carga é muito rápido não precisando nem de sensoriamento das grandezas ambientais e nem da leitura das etiquetas.

O modelo resultante desse trabalho é bastante completo e abrangente. Em relação aos produtos, considera também a cadeia do açúcar cristal. Além de considerar os modais atualmente mais utilizados, contempla os modais com grande potencial de virem a ser utilizados no futuro próximo que estão sendo alvo de grandes investimentos, tanto por parte do governo, como também da iniciativa privada, caso dos armazéns, transbordos e modal hidroviário (Santos et al, 2013).

O modelo revela ainda uma grande sintonia com a tecnologia atual, ao preconizar o uso de RFID, RSSF e GS1, conseguindo com isso utilizar o que se tem de melhor da técnica, para tornar o sistema de rastreabilidade modelado com grandes chances de sucesso.

A Tabela 1, elaborada pelos autores, sintetiza as tecnologias utilizadas conforme as descrições dos processos que ocorrerão em cada etapa.

Tabela 1: Resumo dos recursos tecnológicos utilizados em cada uma das etapas

Etapa	Descrição	RSSF	Etiquetas	Leitor	Acesso DB	Modal
1	Produção da cana	sim	não	não	sim	sem
2	Usina/processamento	sim	não	não	sim	sem
3	Usina/empacotamento* ¹	não	sim	sim	sim	sem
4	Usina/armazenamento	sim	sim	sim	sim	sem
5	transporte mercado interno	sim	não	não	sim* ⁴	rodov.
6	recebimento na indústria consumidora	não	sim	sim	sim	sem
7	empacotamento small bags	sim	sim	sim	sim	sem
8	distribuidor / armazenamento	sim	sim	sim	sim	sem
9	transporte usina / armazenamento porto	sim	não	não	sim* ⁴	rodov.
10	transbordos rodov. / ferrov. ou rodov / hidrov. * ²	não	sim	sim	sim	sem
11	transporte hidrov.	sim	não	não	sim* ⁴	hidrov.
12	transbordo hidrov. / rodov.	não	sim	sim	sim	sem
13	Transporte ferroviário	sim	não	não	sim* ⁴	ferrov
14	armazenamento modal rodov. ou modal ferrov. no porto * ³	sim	sim	sim	sim	sem
15	Terminal de carga	não	não	não	não	sem
16	Transporte marítimo	sim	sim	sim	sim	hidrov.
17	Transporte cabotagem	sim	não	não	sim	hidrov.

*1 - dividida em 3 sub-etapas

*2 - dividida em 2 sub-etapas

*3 - dividida em 2 sub-etapas

*4 - pode ser transmitida à base de dados após armazenada no gateway ou no instante da leitura.

Os sensores a serem utilizados na Etapa 1 funcionarão alimentados por bateria, de preferência com recarregadores solares. Os sensores utilizados nas outras etapas não precisarão ser alimentados à bateria. Os acessos às bases de dados (Acesso DB) serão customizados aos recursos de infraestrutura disponíveis, podendo ser efetuado por meio de conexões à rede de dados celular (GPRS, GSM, CSMA) ou internet. No caso das etapas envolvendo movimentação dos produtos (transporte), a comunicação de dados pode ser feita via satélite com a contratação de empresas especializadas ou via celular por satélite (caso do Iridium). Em não se conseguindo, pode-se optar pelo armazenamento dos dados e via um terminal portátil, transferi-los à base periodicamente. O modelo desenvolvido ao longo desse trabalho, poderá ser utilizado em implementações de projetos de sistema de rastreabilidade para a cadeia de suprimentos do açúcar de cana, juntamente com programas de simulação, como o Arena, por exemplo.

Com os resultados das simulações do modelo poderá ser definida a especificação de um Sistema de Informação (SI), em termos de equipamentos e programas, a ser desenvolvido de forma a possibilitar testes de verificação em laboratório e testes de validação numa primeira instalação no campo. O projeto preliminar do SI possibilitará uma avaliação dos investimentos necessários.

Quando dos testes de validação em campo é fundamental a elaboração de uma massa de testes visando aprovações parciais de cada uma das possibilidades de rastreabilidade a jusante, como por exemplo, testes da Etapa 1 até a Etapa 4 para cada tipo de açúcar; da Etapa 4 até a Etapa 8 e assim sucessivamente até completar as possibilidades. Para cada etapa deverão ser elaborados relatórios diários anotados por colaboradores ao projeto para cruzamento com os relatórios sistêmicos e possível validação do modelo e do sistema ao final dos testes, comprovando sua eficácia na investigação de origem e na rastreabilidade até o consumidor. Estima-se que os pontos sensíveis de um sistema como esse serão os pontos onde haverá intervenção humana, seja no cadastramento de tags, seja na fixação dos tags, seja no manuseio dos produtos e equipamentos.

5. CONCLUSÕES

A partir dessa proposta, acredita-se que novas pesquisas poderão ser conduzidas, como a determinação se as variáveis ambientais consideradas nesse trabalho são as mais significativas para o açúcar; como poderia ser feita a identificação da cana *in nature*, por etiquetas RFID; idem ao processo de produção; quais devem ser os encapsulamentos das etiquetas RFID para utilização nos sacos de açúcar cristal e do açúcar refinado e se seria o caso de se usar contêineres inteligentes (Lang et al, 2011), no caso do açúcar bruto e/ou no caso dos outros tipos de açúcar quando do transporte por modal hidroviário, marítimo ou de cabotagem.

Constata-se por meio deste trabalho a potencialidade do modelo de rastreabilidade proposto, uma vez que os tópicos e conceitos apresentados destacam a importância e as principais vantagens de se implementar um sistema de rastreabilidade na cadeia do açúcar usando RFID, RSSF e a padronização GS1 no âmbito da IoT.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte - SENAT e Instituto de Transporte e Logística - ITL (00557/14), pelo suporte financeiro à presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aqeel-ur-Rehman; Abbasi, A.Z.; Islam, N. e Shaikh, Z.A. (2014) A Review of Wireless Sensors and Networks' Applications in Agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, Vol 36 Ed 2, Feb 2014, p263-270.
- Atlas Store, (2014) loja de produtos RFID em <<http://www.atlasrfidstore.com/>> The Basics of a RFID System, *ebook* publicado e distribuído pela loja; recebido dia 24/05/14.
- Aung, M. M. e Chang, Y.S. (2014) Traceability in a Food Supply Chain: Safety and Quality Perspectives. *Elsevier, Food Control* 39 (2014) p. 172-184.
- Cooper, D. R. e P. S. Schindler (2001) *Métodos de Pesquisa em Administração (7aed.)* Bookman, Porto Alegre, RS.
- Bosona, T. e Gebresenbet, G. (2013) Food Traceability as an Integral Part of Logistics Management in Food and Agricultural Supply Chain. *Elsevier, Food Control* 33 (2013) p. 32-48.
- EPCglobal (2013) *The GS1 EPCglobal Architecture Framework*. GS1 Final Version 1.5 Approved 23 March 2013. <<http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/architecture>>.
- Fornazier, H.; Martin, A. e Messner, S. (2012) Wireless Communication: Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, DASH7. <<http://rose.eu.org>> *Télécom ParisTech 2014*, acessado em 18/07/2014.
- Furlaneto, F. P. B. e Manzano, L. M. (2010) da Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Marília, no site <http://www.infobios.com/Artigos/2010_2/AgriculturaPrecisao/Index.htm>, Agricultura de Precisão e a Rastreabilidade de Produtos Agrícolas, acessado em 24/05/14.
- Gogliano-Sobrinho, O. e Cugnasca, C.E. (2013) An Overview Of The EPCglobal® Network, *IEEE Latin America Transactions*, Vol.11, no.4, Junho 2013.
- Gubbi, J. e Buyya, R. (2013) Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements and future directions. *Future Generation Computer Systems*, Sep 2013 p 1645-1660.
- Hsueh, C. e Chang, M. (2010) A Model for Intelligent Transportation of Perishable Products. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, v. 8, p. 36-41, 2010.
- Juran, J. M. e A. B. Godfrey (1999) *Juran's Quality Handbook (5aed.)*. McGraw-Hill Publisher, USA.
- Lang, W.; Jedermann, R.; Mrugala, D.; Jabbari, A.; Krieg-Bruckner, B. e Schill, K. (2011) The "Intelligent Container" - A Cognitive Sensor Network for Transport Management , in *IEEE Sensors Journal*, Vol II, no.3, Mar 2011.
- Leme, C.B.M.P. (2009) Utilização da Tecnologia RFID Aplicada no Espectro Óptico para Avaliação dos Recursos Disponíveis em Anéis Metropolitanos e seu Impacto Econômico, *tese, PUC-RJ*, março de 2009.
- Machado, R. T. M. (2005) Sinais de Qualidade e Rastreabilidade de Alimento: Uma Visão Sistêmica. Artigo extraído pela autora de sua tese de doutorado pela FEA-USP; *Organ. rurais agroind.*, Lavras, v. 7, n. 2, p. 227-237, 2005.
- MAPA (2014) Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/07/exportacoes-do-agronegocio-atingiram-uss-9-bilhoes>>, consultada em 14/07/2014.
- McFarlane, D. ; Sheffi, Y. (2003) The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations. *International Journal of Logistics Management*, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2003.
- Parreño-Marchante, A.; Alvarez-Melcon, A.; Trebar, M. e Filippin, P. (2014). Advanced Traceability System in Squaculture Supply Chain. *Journal of Food Engineering*, v. 122, p. 99-109, Feb 2014.
- Passaretti, C.S. (2008) Identificação em Rádio Frequência Movendo-se para o Futuro. Projeto de graduação, Faculdade de Tecnologia do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Jun 2008;
- Santos, M.C.; Di-Serio, L.C.; Macau, F.R. e Duarte, A.L.C.M. (2013) Incerteza na Cadeia de Exportação do Açúcar, *revista Pretexto*, Vol.14,N3, 2013, em <<http://www.fumec.br/revistas/pretexto>, acessada em 16/07/2014.
- Silva, R. F. e Cugnasca, C. E. (2011) Uso de Redes de Sensores Sem Fio e Radiofrequencia na Cadeia da Carne Bovina e Proposta de um Modelo de Rastreabilidade. ANPET, 2011.
- Silva, R.F.; Bartholomeu, D.B. e CAIXETA-FILHO, J.V. (2010) Impactos Ambientais de Açúcar para Exportação no Brasil: Quantificação das Emissões de GEE Evitadas pelo uso do Modal Ferroviário. In: XII ENGEMA *Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, 2010, Sao Paulo.
- UNICA (2014) União da Indústria de Cana de Açúcar. Disponível em: < <http://www.unica.com.br>>, consultada em 14/07/2014.
- UNICADATA (2014) Área de dados do site da União da Indústria de Cana de Açúcar. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br>>, consultada em 14/07/2014.