UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

THIAGO ROSA VAZ

CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID

Goiânia
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE INFORMÁTICA

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE DISSERTAÇÃO EM FORMATO ELETRÔNICO

Na qualidade de titular dos direitos de autor, **AUTORIZO** o Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás – UFG a reproduzir, inclusive em outro formato ou mídia e através de armazenamento permanente ou temporário, bem como a publicar na rede mundial de computadores (*Internet*) e na biblioteca virtual da UFG, entendendo-se os termos "reproduzir" e "publicar" conforme definições dos incisos VI e I, respectivamente, do artigo 5º da Lei nº 9610/98 de 10/02/1998, a obra abaixo especificada, sem que me seja devido pagamento a título de direitos autorais, desde que a reprodução e/ou publicação tenham a finalidade exclusiva de uso por quem a consulta, e a título de divulgação da produção acadêmica gerada pela Universidade, a partir desta data.

Título: CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID

Autor(a): Thiago Rosa Vaz

Goiânia, 19 de Maio de 2011.

Thiago Rosa Vaz – Autor

Dr. Vagner José do Sacramento Rodrigues – Orientador

THIAGO ROSA VAZ

CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID

Dissertação apresentada ao Programa de Pós–Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Redes e Sistemas Distribuídos.

Orientador: Prof. Dr. Vagner José do Sacramento Rodrigues

Goiânia
2011

THIAGO ROSA VAZ

CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID

Dissertação defendida no Programa de Pós–Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, aprovada em 19 de Maio de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Vagner José do Sacramento Rodrigues
Instituto de Informática – UFG
Presidente da Banca

Prof. Dr. Fabiano Passuelo Hessel
Faculdade de Informática – PUC-RS

Prof. Dr. Bruno Oliveira Silvestre
Instituto de Informática – UFG

Thiago Rosa Vaz

Graduou-se em Ciência da Computação pela UFG - Universidade Federal de Goiás. Durante sua graduação, participou ativamente de pesquisas nas áreas de Serviços Baseados em Localização e Identificação por Radiofrequência (RFID) no Grupo de Estudos Aplicados à Internet e a Sistemas Distribuídos - GEApIS. Atualmente, realiza mestrado em Ciências da Computação pela mesma universidade, com bolsa da CAPES , e desenvolve um middleware para processamento de eventos complexos RFID. Suas áreas de interesse atuais são RFID e Processamento de Eventos Complexos (CEP).

A Deus, a meus pais Osires e Mariza, a meus irmãos Fernando e Wanessa, e a minha namorada Hélen.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me proporcionar paciência e força no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Vagner, meu orientador, que esteve sempre disposto a conversar, tirar dúvidas, levantar questões e sacrificar-se pelo seu orientando e o projeto, cumprindo perfeitamente o trabalho de orientar, abraçando a causa.

Agradeço aos meus pais por me proporcionarem uma base sólida de educação importante para superar os desafios, além de todo o amor e espiritualidade. Aos meus familiares em geral pela força e carinho.

Tenho muito a agradecer a minha namorada, Hélen, que sempre esteve presente dando todo o amor que precisei para acordar cada dia mais disposto. Agradeço a ela pela compreensão nos momentos de ausência devido ao trabalho e por toda felicidade transmitida nos momentos em que estávamos juntos.

Agradeço a todos os amigos do mestrado, em especial ao Leandro Alexandre e ao André Coimbra. E a todos que fazem parte da minha vida.

Agradeço à CAPES, pelo suporte financeiro.

"(...)Na superfície está o profundo e no profundo está a superfície. É uma questão de inversão. Mas nem na superfície nem no profundo está contida a Verdade: ela está no equilíbrio. É o ponto do meio."

Dr. Celso Charuri,
Fundador e idealizador da PRÓ-VIDA.

Resumo

Rosa Vaz, Thiago. **CEPFID: Plataforma de Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID**. Goiânia, 2011. 98p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

O RFID trouxe ao mundo virtual um grande volume de eventos que anteriormente só existiam no mundo físico, impulsionando o desenvolvimento das tecnologias de Processamento de Eventos Complexos (CEP). Neste trabalho nós investigamos o CEP para RFID e descobrimos que os principais padrões na área, definidos pela EPCglobal, não contemplam satisfatoriamente as necessidades das aplicações em manipular eventos complexos. Portanto, desenvolvemos o Middleware CEPFID, uma plataforma de software que facilita o desenvolvimento de aplicações RFID proporcionando a descoberta de eventos complexos na Rede EPC. Devido à real necessidade de adequação do middleware aos diferentes cenários de aplicação da tecnologia RFID, projetamos uma arquitetura extensível que possibilita a inclusão de novos serviços para o processamento e descoberta de eventos complexos.

Palavras–chave

RFID, CEP, Eventos Complexos, Middleware, EPC, ALE

Abstract

Rosa Vaz, Thiago. **CEPFID Middleware**. Goiânia, 2011. 98p. MSc. Dissertation. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

RFID has brought to the virtual world a high volume of events that previously existed only in the physical world, boosting the development of technologies for Complex Event Processing (CEP). In this work, we investigated the CEP for RFID and found that the main standards in the area, defined by EPCglobal, do not address adequately the application needs for handling complex events. So we developed the CEPFID Middleware, a software platform that simplifies the development of RFID applications providing the discovery of complex events in the EPC Network. Due to need to adapt the middleware to different application scenarios of RFID technology, we designed an extensible architecture that enables the inclusion of new services for the processing and discovery of complex events.

Keywords

RFID, CEP, Complex Events, Middleware, EPC, ALE

Sumário

Lista de Figuras **11**

1 Introdução **13**

2 Processamento de Eventos Complexos em RFID **16**
- 2.1 Processamento de Eventos Complexos 16
- 2.2 Padrões da EPCglobal para RFID 19
  - 2.2.1 Application Level Events (ALE) 21
  - 2.2.2 EPC Information Services (EPCIS) 24
- 2.3 Requisitos de CEP para RFID 27
  - 2.3.1 CEP nos Padrões EPCglobal 27
  - 2.3.2 Extensibilidade dos Serviços CEP 30
  - 2.3.3 Conclusão 31

3 CEPFID - Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID **33**
- 3.1 Visão Geral 33
- 3.2 Serviços de Processamento de Eventos Complexos 36
  - 3.2.1 CEPFID Filter Service 36
  - 3.2.2 CEPFID Sequence Service 37
  - 3.2.3 CEPFID Aggregation Service 39
- 3.3 Arquitetura 41
  - 3.3.1 Visão Geral da Arquitetura 41
  - 3.3.2 CEPFID Interface 42
  - 3.3.3 Event Capture 44
  - 3.3.4 Notifier 45
- 3.4 CEP Workflow Manager 46
  - 3.4.1 Workflow de Serviços CEP 46
  - 3.4.2 CEPFID Service 49
  - 3.4.3 Definição de um Evento Complexo 52
  - 3.4.4 Processamento de um Evento Complexo 53
  - 3.4.5 Adição de um Novo CEPFID Service 55
- 3.5 Implementação 58

4 Estudo de Caso **61**
- 4.1 Cenário 1 - Processamento de Eventos Complexos na Rede EPC (ALE) 61
- 4.2 Cenário 2 - O Processamento de Eventos Complexos na Rede EPC (ALE e EPCIS) 65
- 4.3 Cenário 3 - A Inclusão, Remoção e Atualização dos Serviços CEPFID 67

5 Trabalhos Correlatos **71**

6 Conclusão **75**
6.1 Trabalhos Futuros 76

Referências Bibliográficas **78**

A Linguagem de Processamento dos Eventos Complexos **82**
A.1 CEPSpec 82
A.1.1 CEPBoundarySpec 82
A.1.2 CEPReportSpec 83
A.1.3 CEPComplexEvent 84
A.1.4 FilterSpec 85
A.1.5 CEPFilterEvent 87
A.1.6 SequenceSpec 89
A.1.7 CEPSeqUnit 90
A.2 CEPReports 91
A.2.1 CEPReport 92
A.2.2 CEPReportEvent 93
A.3 Exemplos de CEPSpec 94
A.3.1 Exemplo 1 94
A.3.2 Exemplo 2 95
A.3.3 Exemplo 3 96
A.3.4 Exemplo 4 97

Lista de Figuras

1.1 Leitor e etiqueta RFID. Extraído de [3]. 13
1.2 Middeware CEPFID e o processamento de eventos complexos. 14

2.1 Comparação entre os métodos tradicionais de processamento e o CEP. 17
2.2 Exemplo de reconhecimento de padrões realizado por um software CEP. 18
2.3 Exemplo de descrição de um evento complexo utilizando a EPL definida pelo CEP Esper. 18
2.4 Padrões definidos pela EPCglobal para apoiar o uso de RFID [16]. 20
2.5 Exemplo de identificador EPC. 21
2.6 Exemplo de propagação do evento e seu processamento. 25
2.7 Interfaces do EPCIS. 26
2.8 Rede EPC. 27
2.9 Exemplo de utilização do ALE e processamento de eventos complexos na Aplicação. 28
2.10 Exemplo de utilização do ALE e processamento de eventos complexos na Aplicação de Captura EPCIS. 29
2.11 Inclusão de CEP como camada adicional à implementação ALE. 30
2.12 Reutilização de serviços CEP para compor novos. 31

3.1 CEPFID na Rede EPC. 34
3.2 Exemplo de indústria instrumentada com leitores RFID. 35
3.3 Filtragem por dados de sensores e memória de etiquetas. 36
3.4 Combinação lógica de eventos RFID. 37
3.5 Sequência de eventos RFID. 38
3.6 Identificação de eventos que não seguem a sequência estabelecida. 38
3.7 Notifica quando eventos seguem o prazo estabelecido. 39
3.8 Notifica quando eventos não seguem o prazo estabelecido. 39
3.9 Agregação de eventos por meio de Triggers. 40
3.10 Arquitetura do Middleware CEPFID. 41
3.11 Semelhança entre o *ECSpec* e o *CEPSpec*. 42
3.12 Semelhança entre a Interface ALE e Interface CEPFID. 43
3.13 Exemplo de ECReports proveniente de uma implementação ALE. 45
3.14 Exemplo de workflow CEP. 47
3.15 Filter Service não utiliza uma composição de outros CEPFID Services. 47
3.16 Workflow do CEPFID Sequence Service. 48
3.17 Fluxo de processamento de eventos entres os CEPFID Services. 48
3.18 Relatório de eventos, EventReport. 49
3.19 Workflow de eventos gerenciado pelo CEP Workflow Manager. 50
3.20 CEPFID Service Interface e CEP Workflow Manager Interface. 50

3.21 Fluxo de registro dos CEPFID Services Filter, Sequence e Aggregation. 51
3.22 Fluxo de registro e processamento de um evento complexo. 52
3.23 Definição de um evento complexo. 52
3.24 Detecção de um evento complexo. 54
3.25 (a) e (b) representam dois exemplos de FilterSpec. 56
(b) FilterSpec estendida. 56
3.26 Registro de um evento complexo que utiliza o RegularFilter. 57
3.27 SequenceSpec em formato XML. 58
3.28 Exemplo de *CEPSpec*. 59
3.29 Exemplo de *CEPReports* em resposta ao *CEPSpec* da Figura 3.28. 60

4.1 Rede EPC simulada pelas ferramentas Rifidi. 62
4.2 Integração do CEPFID ao middleware ALE. 63
4.3 Utilização da Interface CEPFID. 64
4.4 Exemplo de CEPSpec para monitorar a montagem de um servidor. 64
4.5 Exemplo de CEPSpec para monitorar quando um produto for finalizado. 66
4.6 Criação de um evento EPCIS. 67
4.7 Exemplo de CEPSpec especificando uma agregação baseada na quantidade de eventos complexos identificados. 68
4.8 Passos de inclusão do novo CEPFID Service Quantity. 69
4.9 Workflow de eventos complexos para o novo CEPFID Service. 70

5.1 Middleware CEPFID utilizando diferentes máquinas CEP. 74

6.1 Transformação dos dados RFID em eventos de negócio através dos padrões EPCglobal. 75

CAPÍTULO 1

Introdução

Nos últimos anos, procedimentos de identificação automática tornaram-se muito populares na indústria, logística de compras e distribuição, empresas de manufaturas e sistemas de fluxo de material. Esses procedimentos existem para fornecer informações sobre pessoas, animais, mercadorias e produtos em trânsito [21].

Exemplo disto é o código de barras, o qual provocou uma revolução nos sistemas de identificação a bastante tempo atrás, mas hoje está sendo considerado inadequado para um crescente número de casos que requerem agilidade e interatividade. Por esta razão uma nova tecnologia está ganhando força e irá complementar o código de barras, é o RFID *Radio Frequency Identification*. RFID consiste de um método de identificação automática que utiliza ondas de rádio para recuperar e armazenar dados em dispositivos anexados aos objetos monitorados. Os principais componentes de hardware de um sistema RFID são: i) a etiqueta, que é o dispositivo anexado ao item; ii) e o leitor que detecta a presença de etiquetas e realiza a leitura de seus dados mesmo que elas estejam a alguns metros de distância e em movimento. A Figura 1.1 ilustra esse cenário.

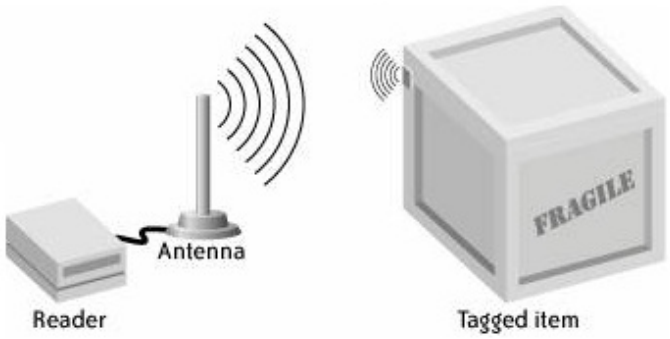

Figura 1.1: *Leitor e etiqueta RFID. Extraído de [3].*

É importante notar os benefícios que essa tecnologia proporciona as mais diversas áreas de negócio. Em hospitais, lacres e pulseiras RFID estão sendo utilizadas para identificar o tipo sanguíneo do paciente e lacrar bolsas de sangue e plasma [15]. Antes de realizar a transfusão, a enfermeira utiliza um leitor RFID para identificar a bolsa e o

tipo sanguíneo do paciente. Se eles não corresponderem, o lacre da bolsa não será aberto, evitando assim a administração do sangue errado.

Outra aplicação de sucesso do RFID é na cadeia de suprimentos. Através de etiquetas fixadas em caixas e *pallets* de produtos, é possível, em tempo real, acompanhar todo o fluxo de trabalho da cadeia, permitindo ao administrador visualizar gargalos, falhas e apontar melhorias no processo.

De forma geral, RFID tem sido aplicado nas mais variadas áreas para proporcionar uma administração mais inteligente e com menos desperdício de tempo e dinheiro. No entanto, esta tecnologia traz grandes desafios para o processamento e administração dos dados coletados, pois as leituras RFID carregam significados implícitos, os quais devem ser transformados e agregados em um modelo de dados semânticos que tenha importância para a tomada de decisão das aplicações. Além disso, RFID gera um grande volume de dados em um fluxo contínuo, o qual deve ser processado em tempo real. Isso dificulta o processamento e a correlação entre as diferentes leituras de uma mesma etiqueta para que a aplicação possa identificar um evento com semântica de negócio de seu interesse, por exemplo, identificar que uma impressora não passou por todas as fases de testes no processo de produção.

Por essas razões, o objetivo deste trabalho consiste da proposta de um middleware para processamento de eventos complexos RIFD, chamado CEPFID, ilustrado na Figura 1.2. Ele será o responsável por processar os dados RFID, transformando as leituras brutas em informações relevantes para as aplicações. Informações que muitas vezes estão contidas em uma complexa combinação de leituras RFID, os chamados eventos complexos ou eventos com semântica de negócio.

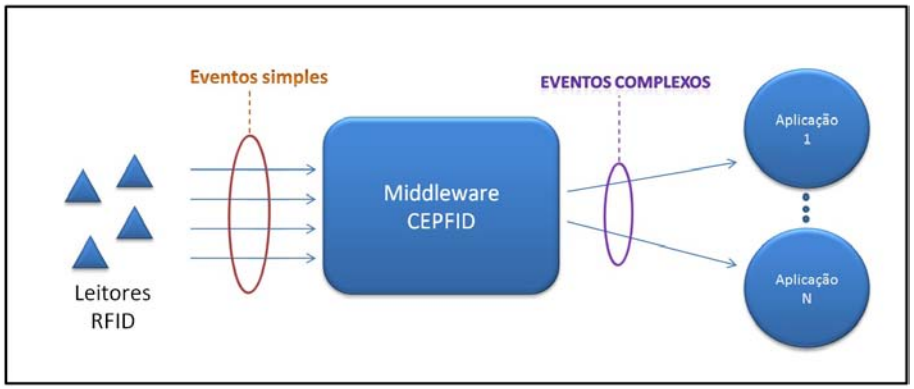

Figura 1.2: *Middeware CEPFID e o processamento de eventos complexos.*

Os principais padrões na área de RFID, definidos pela EPCglobal[1], não contemplam satisfatoriamente as necessidades das aplicações em manipular eventos complexos.

[1] A EPCglobal é líder no desenvolvimento de padrões para apoiar o uso de RFID na indústria.

Portanto, o Middleware CEPFID foi desenvolvido para integrar-se á arquitetura de sistemas RFID definida pela EPCglobal, preenchendo uma “lacuna” que existe entre os sistemas que implementam os padrões.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os fundamentos de CEP e os padrões da EPCglobal, realizando uma análise crítica e apontando desafios e requisitos de um middleware CEP para RFID; o Capítulo 3 descreve a proposta de arquitetura, interfaces e implementação do Middleware de Processamento de Eventos Complexos para RFID, chamado CEPFID; o Capítulo 4 apresenta um estudo de caso para avaliação dos benefícios proporcionados pelo Middleware CEPFID; o Capítulo 5 descreve os trabalhos relacionados, abordando as temáticas: RFID, CEP e Padrões EPCglobal, por fim, o Capítulo 6 apresenta a conclusão e direções para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Processamento de Eventos Complexos em RFID

O RFID provê identificação automática para objetos e pessoas, trazendo para os sistemas de TI visibilidade em tempo-real sobre acontecimentos de um ambiente. Muitas vezes esses acontecimentos passam despercebidos pelos olhos humanos, mas carregam informações importantes para a tomada de decisões. No entanto, ao trabalhar com RFID tendo como base apenas a leitura atômica de etiquetas, deixa-se de explorar o real valor dessa tecnologia. O retorno sobre investimento em RFID se justifica, ainda mais, quando correlacionamos diferentes leituras através do Processamento de Eventos Complexos (CEP), extraindo informações com semântica de negócio.

Esse Capítulo tem por objetivo discutir os conceitos fundamentais sobre o Processamento de Eventos Complexos em RFID, apresentando na Seção 2.1 uma introdução sobre CEP e sua aplicação em sistemas RFID. E na Seção 2.3, são discutidos os principais desafios e requisitos de um Middleware CEP.

2.1 Processamento de Eventos Complexos

Um "evento" é qualquer mensagem que indique um acontecimento, tal como a leitura de uma etiqueta RFID, a temperatura inferida por um sensor e uma transação de negócio. Em um ambiente instrumentado com RFID e sensores, mensagens como essas atravessam silenciosamente os sistemas de TI. Essas "são fonte de grande poder, quando são agregadas e têm suas relações compreendidas" [29].

Alguns eventos são simples como uma leitura hexadecimal de um sensor, outros representam um conjunto de acontecimentos e carregam semântica, como uma transação de negócio. De forma geral, podemos classificar os eventos em dois tipos, de acordo com seu nível de abstração e complexidade de detecção. São eles:

- Eventos Simples: são eventos que ocorrem em um instante de tempo pontual e não representam uma abstração de mais alto nível ou composição de outros eventos. Por exemplo, a leitura da etiqueta presente em um pallet.

- Eventos Complexos: são aqueles gerados por um padrão de outros eventos em um intervalo de tempo e que representam uma abstração de seus eventos membros. Por exemplo, "evento indicando falha em alguma parte do processo de negócio – quando um **caminhão chegar** e **todos os pallets** esperados **não forem escaneados dentro de 60 minutos**, enviar um evento de alerta para o gerente" [35].

Eventos simples carregam significados implícitos, e quando agregados e combinados, podem ser traduzidos em eventos complexos de maior nível semântico. O conjunto de técnicas e ferramentas responsáveis por esse processamento é chamado *Complex Event Processing* (CEP) [29].

CEP se diferencia dos métodos tradicionais de processamento por atuar no dado em "movimento", ou seja, identificando eventos em tempo-real, conforme o exemplo ilustrado na Figura 2.1.

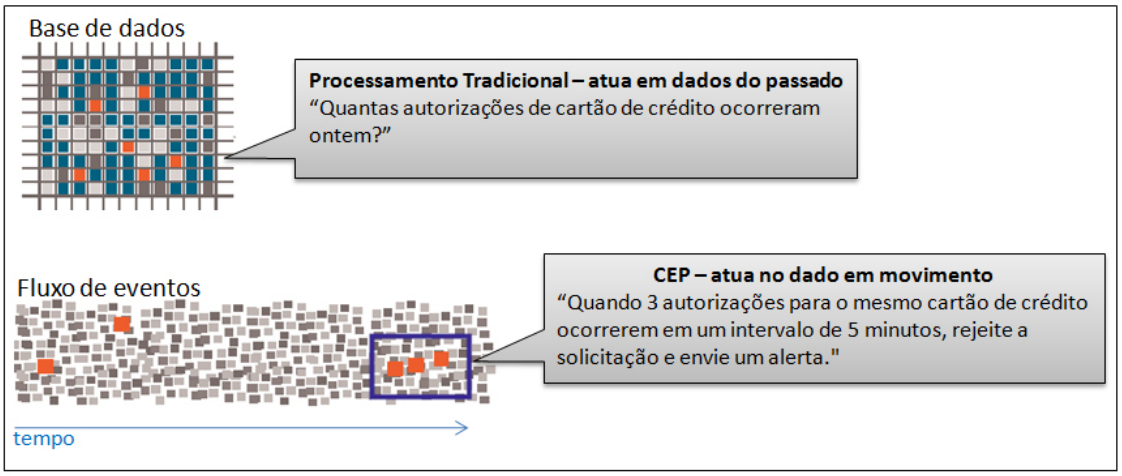

Figura 2.1: *Comparação entre os métodos tradicionais de processamento e o CEP.*

Diversas são as implementações de softwares CEP existentes. Entre sistemas comerciais e acadêmicos, destacamos: Esper [18], Sybase CEP [39], Apama [40], Cayuga [6], Dutta [7] e PRES [25]. Cada qual utiliza diferentes técnicas para a detecção dos eventos complexos, tais como Rede de Petris [25], máquina de estados [18], e estruturas R-Tree [7]. De forma geral, o processamento realizado por um software CEP consiste da procura por padrões de eventos, ou o desvio deles, como representado na Figura 2.2.

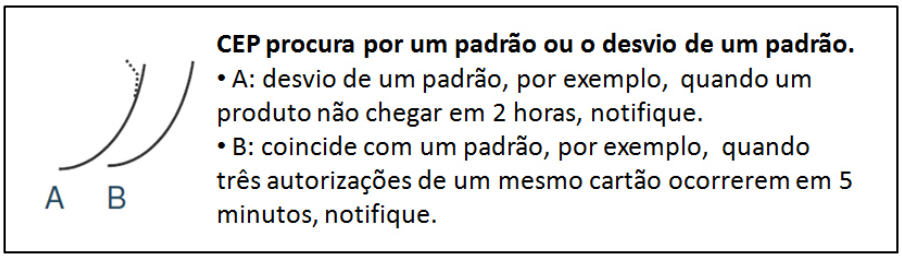

Figura 2.2: *Exemplo de reconhecimento de padrões realizado por um software CEP.*

A descrição desses padrões é passada ao CEP pelos usuários, através de uma Linguagem de Processamento de Eventos, do inglês, *Event Processing Language* (EPL). Muitas linguagens foram propostas, tais como Cayuga Event Language (CEL) [6], SASE[24], XChangeEQ [4], Esper [18], FML [1]. Algumas representam o evento de forma semelhante a uma consulta SQL [6, 24, 4], outras seguem um estilo próprio [18, 1]. Porém, em geral, as EPLs descrevem um evento complexo utilizando relações de casualidade e temporalidade aliadas aos operadores lógicos, conforme exemplo ilustrado na Figura 2.3.

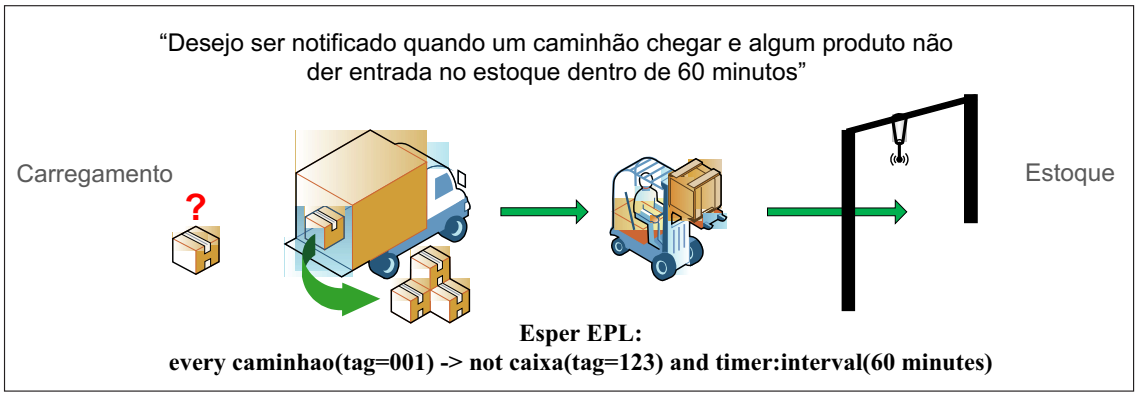

Figura 2.3: *Exemplo de descrição de um evento complexo utilizando a EPL definida pelo CEP Esper.*

RFID está associado a CEP porque trouxe para o mundo virtual um grande volume de eventos que anteriormente só existiam no mundo físico, provendo identificação automática para todos os objetos presentes no nosso meio, tais como caixas, *pallets*, localidades, pessoas, animais, etc. De fato, essa tecnologia gera um grande volume de eventos que precisam ser organizados, processados e agregados para que tenham valor semântico para as aplicações e usuários finais. Na ausência de CEP, RFID é uma tecnologia que agrega peças a um quebra-cabeça, o qual posteriormente não conseguiremos combinar e identificar os seus significados.

Em RFID, um eventos simples, ou evento bruto, corresponde à leitura de uma etiqueta realizada por um leitor RFID, podendo ser representada pela tupla: fonte de leitura, identificador da etiqueta e instante da leitura. Quando trabalhamos com esses

dados de forma isolada, sem combiná-los a outras leituras, a capacidade de compreensão do evento torna-se limitada a um único acontecimento. Por exemplo, em um hipermercado equipado com leitores RFID em suas prateleiras e caixas, pode-se extrair informações como: “O produto A deixou a prateleira X”, “O produto B passou pelo caixa Y”. No entanto, ao correlacionar as diferentes leituras RFID com a utilização de um serviço CEP, pode-se definir eventos com semântica de negócio, tais como: “O produto A foi retirado da prateleira Y e não passou nos caixas nas próximas 3 horas – o produto A foi perdido”, “O produto B foi retirado da prateleira por 20 vezes e devolvido em seguida – o produto B pode estar caro”.

Atualmente, não existe um órgão ou entidade que regulamente especificações e padrões de EPLs ou sistemas CEP de uso geral. Entretanto, em RFID, a EPCglobal [16] definiu diversas especificações de interfaces para o funcionamento e uso de sistemas RFID. Na Seção 2.2 apresentamos alguns desses padrões EPCglobal e posteriormente discutimos os desafios e requisitos de CEP para RFID na Seção 2.3.

2.2 Padrões da EPCglobal para RFID

A adoção de RFID envolve a utilização de uma estrutura de software que permita a captura e processamento das leituras. A EPCglobal definiu diversos padrões para apoiar o uso de RFID na indústria. Eles abrangem desde a leitura da etiqueta pela rede RFID até o seu processamento e compartilhamento das informações entre diferentes organizações. Os padrões são aplicados e aceitos pela comunidade RFID e por empresas como Microsoft [32], IBM [26], SAP [38] e GlobeRanger [23]. A Figura 2.4 representa a composição das principais especificações e suas implementações em um sistema RFID.

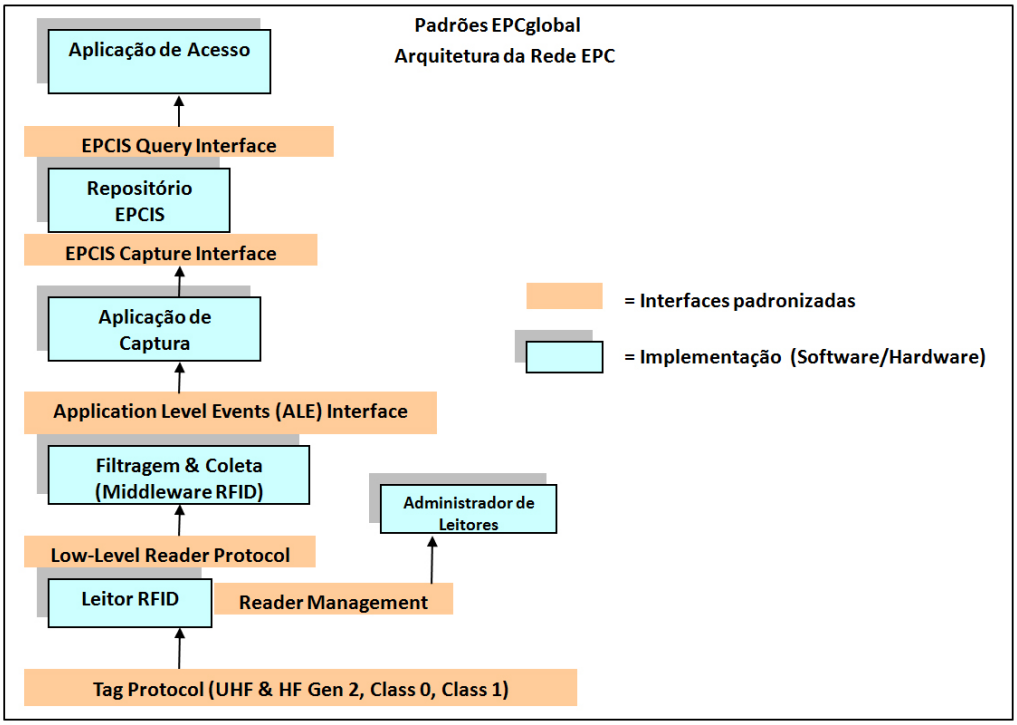

Figura 2.4: *Padrões definidos pela EPCglobal para apoiar o uso de RFID [16].*

No nível mais baixo do sistema está a *Tag Protocol* [9], que define os requisitos físicos e lógicos que compõem uma etiqueta e permite a comunicação com os leitores.

Os leitores, por sua vez, podem implementar a interface *Reader Management* [11], que especifica o protocolo de monitoramento do estado dos leitores através de SNMP[1]; e a interface *Low-Level Reader Protocol* (LLRP) [17], a qual permite ao Middleware RFID controlar operações como leitura e escrita nos leitores.

O Middleware é o responsável por coletar e filtrar dados RFID para as aplicações. O *Application Level Events* [14] é considerado o padrão de middleware da EPCglobal, definindo interfaces padronizadas para o acesso às funcionalidades de coleta e filtragem.

Já o *EPC Information Service* (EPCIS) [8] destina-se ao compartilhamento de eventos de negócio, tais como empacotamento, carregamento e transporte de mercadorias associadas a etiquetas RFID. Um Repositório EPCIS, conta com duas interfaces padrão. A *Capture Interface* permite povoar o repositório incluindo eventos de negócio identificados por uma aplicação, enquanto a *Query Interface* permite que outras aplicações sejam notificadas da ocorrência dos eventos.

Todos os padrões da EPCglobal apoiam o uso do EPC, que é um número de série global para a identificação individual de objetos físicos através de etiquetas RFID. Uma

[1] Simple Network Management Protocol (SNMP) é um protocolo de camada de aplicação definido pela Internet Architecture Board (IAB) no RFC 1157 para facilitar o gerenciamento e troca de informações entre os dispositivos de rede.

construção EPC consiste em um prefixo da organização, uma identificação da classe do objeto e um número serial usado para identificar a instância do objeto. A Figura 2.5 ilustra um exemplo de EPC.

Figura 2.5: *Exemplo de identificador EPC.*

Neste trabalho, iremos descrever os padrões ALE e EPCIS, pois são os responsáveis pelo processamento e disseminação dos eventos simples e complexos da rede RFID.

2.2.1 Application Level Events (ALE)

Middleware RFID é o software que permite as aplicações clientes coletarem observações EPC consolidadas e filtradas a partir de uma variedade de leitores, abstraindo os desafios envolvidos na comunicação com a rede de leitores e etiquetas RFID. O padrão *Application Level Events* (ALE) é considerado o padrão de middleware definido pela EPCglobal oferecendo os seguintes serviços principais:

- fornece métodos para os clientes especificarem, em alto nível, quais dados estão interessados e quais ações desejam operar;
- proporciona um formato padronizado para reportar dados acumulados, filtrados e os resultados das operações realizadas, de forma independente de onde e como os dados foram processados;
- abstrai o canal através do qual as fontes de dados são acessadas, oferecendo uma camada de mais alto nível e tornando transparente a exata localização física dos leitores RFID;
- abstrai o endereçamento das informações armazenadas nas etiquetas RFID, escondendo do cliente os detalhes de como um elemento de dados particular está representado em bits e o endereço de memória que o contém;
- fornece mecanismo de segurança para que os administradores escolham quais operações uma determinada aplicação pode realizar.

É importante notar que essa especificação não define como a interface de serviços deve ser implementada ou onde pode ser distribuída. Por exemplo, um serviço ALE pode ser implementado em um leitor ou em um *cluster* de servidores de aplicação, dependendo do escopo e propósito do sistema.

A ALE está dividida em cinco interfaces expressas através de *XML Schema Definition* (XSD) [20] e *Web Services Description Language* (WSDL) [5]:

- **Reading API.** Interface através da qual clientes podem obter EPCs filtrados e consolidados, dentre outros dados, de uma variedade de fontes.
- **Writing API.** Através desta interface, clientes podem executar operações sobre a etiqueta RFID, por exemplo, escrever dados.
- **Tag Memory Specification API.** Permite aos clientes definir nomes simbólicos que se referem aos campos de dados da etiqueta.
- **Logical Reader Configuration API.** Permite definir nomes de leitores lógicos para utilizar com a Reading e Writing API, onde cada leitor lógico mapeia para um ou mais leitores RFID. O conceito de leitor lógico foi criado para ser usado em casos onde um grupo de leitores físicos comportam-se como um único leitor, por exemplo, se houver dez leitores em um mesmo corredor de supermercado pode-se agrupá-los em um único leitor lógico chamado "Corredor1". É possível, também, realizar o mapeamento de um único leitor físico para vários leitores lógicos, por exemplo, um leitor RFID pode possuir várias antenas e cada uma ser mapeada para um leitor lógico.
- **Access Control API.** Uma interface através da qual clientes podem definir regras de acesso aos recursos das outras APIs.

As APIs Tag Memory Specification, Logical Reader e Access Control trabalham de forma conjunta oferecendo serviços base para o uso das interfaces Reading e Writing. Uma implementação ALE (especialmente da Reading API) pode ser vista como um serviço de *Event Stream Processing* (ESP)[2], no qual fluxos de eventos oriundos da rede de leitores RFID são processados e enviados em forma de relatórios consonantes à especificação do cliente. Esse papel é assegurado graças a esquemas de filtragem e agrupamento conforme descrito a seguir.

[2]Um ESP realiza a identificação de eventos significativos dentre de um fluxo de eventos, trabalhando com algoritmos que podem apresentar alta velocidade e utilizam pouca memória, pois não trabalham com a identificação de eventos baseado no histórico, ou seja, não reconhecem complexos padrões que envolvam principalmente causa ou efeito. [30]

- **Filtragem**

  A ALE fornece meios para selecionar etiquetas EPC utilizando uma listas de padrões de inclusão ou exclusão. Um EPC é incluído no relatório se ele casar com algum padrão de seleção da lista de inclusão e não casar com algum padrão de filtragem da lista de exclusão. O padrão denota um único EPC ou um conjunto de EPCs. Este pode ser representado como uma URI [14] descrita no seguinte formato geral:

  ```
  urn:epc:pat:TagFormat:<data fields>
  ```

  O `TagFormat` especifica o padrão de codificação em que o identificador da etiqueta está representado, segundo a *EPCglobal Tag Data Specification* [12]. Além disto, o `TagFormat` utilizado determina a quantidade de bits, o número e o significado dos campos utilizados na URI. Por exemplo, um padrão GID (*General Identifier*) [12] não tem o campo `FilterValue`, ao contrário do padrão SGTIN-96 (*Serialized Global Trade Item Number*) [12], conforme representado abaixo.

  ```
  urn:epc:pat:gid-96:CompanyPrefix.ItemReference.SerialNumber
  ```

  ```
  urn:epc:pat:sgtin-96:FilterValue.CompanyPrefix.ItemReference.SerialNumber
  ```

  Em um filtro EPC, cada um dos campos de dados da URI pode conter i) um inteiro decimal, demandando que o EPC comparado case exatamente com o valor informado para ser selecionado; ii) um asterisco (*), significando que o EPC comparado pode ter qualquer valor no referido campo; ou iii) um intervalo (inferior e superior) que determina que o EPC comparado casará com o filtro definido se o número correspondente no EPC comparado tiver um valor entre os números decimais informados no intervalo. Para os exemplos abaixo, considere filtros EPCs no formato SGTIN-96 para a seleção de produtos diversos, conforme especificado na URI de filtro:

  urn:epc:pat:sgtin-96:3.1455228.223344.600 - Seleciona o EPC com FilterValue 3, prefixo da corporação 1455228, Referência de item ou classe de objetos 223344 e número serial 600;

  urn:epc:pat:sgtin-96:*.1455228.123456.* - Seleciona EPCs com qualquer número serial ou FilterValue, cujo prefixo da corporação seja 1455228 e classe de objetos 223344;

  urn:epc:pat:sgtin-96:3.1455228.240-248.* - Seleciona EPCs com qualquer número serial, cujo FilterValue seja 3, prefixo da corporação seja 1455228 e identificadores de classe de objetos estejam no intervalo 240 a 248;

- **Agrupamento**
  A especificação ALE permite ao cliente agrupar dados coletados de diferentes leitores. Os padrões de agrupamento são similares aos padrões para definição de regras de filtragem. Por exemplo, na URI de agrupamento pode ser utilizado números, coringas (*) e intervalo de valores.
  A seguir, são ilustrados alguns exemplos de agrupamentos de propósito geral.

  urn:epc:pat:sgtin-96:X.*.*.* - agrupa pelo valor de filtro criando um novo grupo para cada valor de filtro diferente;
  urn:epc:pat:sgtin-96:*.X.X.* - cria um novo grupo para cada classe de objetos ou organização diferente;
  urn:epc:pat:sgtin-96:3.X.*.0-100 - cria um grupo diferente para cada prefixo da companhia, incluindo em cada grupo somente EPCs que têm um valor de filtro 3, números seriais no intervalo entre 0 e 100, inclusive, independentemente da classe de objeto identificada.

- ***Triggers***
  Triggers, ou gatilhos, são recursos que permitem o cliente ALE definir o momento exato que a captura dos EPCs deve iniciar ou terminar. Na especificação ALE são definidos apenas *triggers* baseados no tempo, os quais podem ser utilizados para indicar o exato instante em que um ciclo de coleta dos dados deve iniciar. Outros *triggers* poderão ser incluídos conforme a necessidade do implementador da solução ALE, por exemplo um sensor de presença poderá ser um trigger para iniciar a coleta dos dados na formação de um pallet.

A ALE foi desenvolvida para ser extensível, ou seja, os implementadores da especificação poderão incluir novos filtros, agrupamentos e elementos de dados de acordo com suas necessidades, porém seguindo algumas diretrizes já estabelecidas. Na sua forma "pura", a especificação não permite uma combinação complexa de eventos que envolva ordem de ocorrência, organização lógica entre eventos, e até filtragem por dados do banco de memória das etiquetas.

Muitas vezes a tecnologia RFID pode estar associada a sensores, como de temperatura e umidade. Essa associação não é totalmente suportada pela especificação ALE, porém algumas implementações de middleware ALE poderão trazer extensões que permitam a coleta de dados de sensores diversos, além dos leitores RFID.

2.2.2 EPC Information Services (EPCIS)

A especificação EPCIS define interfaces padronizadas para representação e troca de dados EPC entre diferentes organizações. Esse padrão está em uma camada superior

ao ALE, focando nas necessidades dos usuários para compartilhar eventos relacionados à camada de negócio. O padrão foi desenvolvido principalmente para ser aplicado a empresas envolvidas em uma cadeia de suprimentos monitorada por RFID, com o propósito de melhorar a visibilidade, precisão e automação da cadeia. "A maioria dos usuários não esta interessada em saber que os EPCs urn:epc:tag:sgtin-96:3.1455228.223344.[600-850] foram recebidos, mas, sim, saber que um pallet de colchões foi recebido do fornecedor X, pelo portão Z, no horário Y, em função do pedido de reposição de estoque" [34].

Apesar das grandes diferenças na forma como as empresas operam, todos os setores precisam descrever o movimento físico de suas mercadorias. O EPCIS é essencialmente uma linguagem universal para descrever as informações relacionadas à movimentação dos objetos e pessoas rastreados com etiquetas RFID, incorporando as noções comuns de **O que**, **Como**, **Quando**, **Onde** e **Por quê** em um evento RFID, conforme exposto na Figura 2.6.

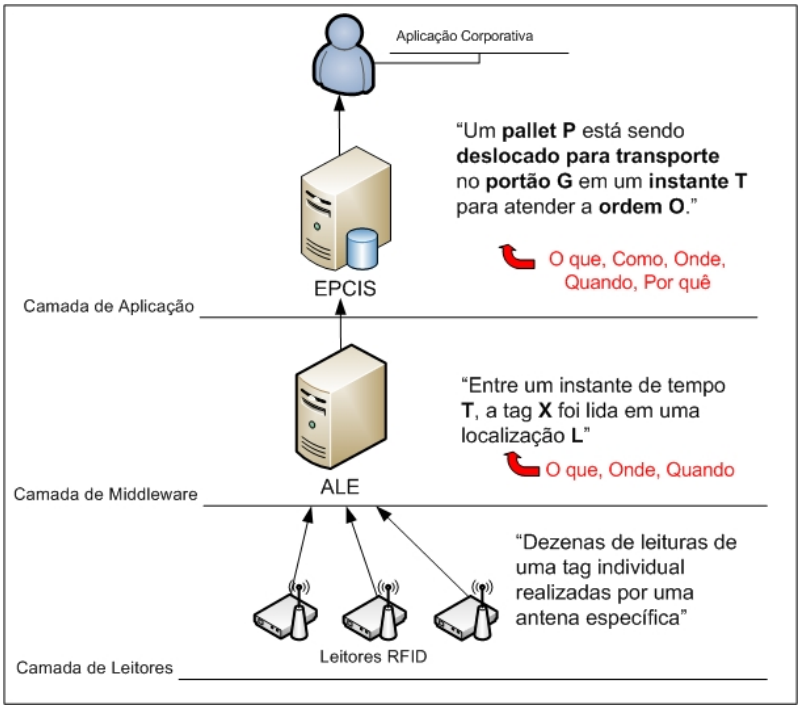

Figura 2.6: *Exemplo de propagação do evento e seu processamento.*

Existem quatro tipos de eventos de negócio definidos na especificação [10]:

- *Object Event*: ilustra um evento pertencente a um EPC descrevendo como ele se move na cadeia de fornecimento, desde a sua criação (*ADD*), através de sua vida (*OBSERVER*) e morte (*DELETE*);
- *Aggregation Event*: descreve um evento relativo a uma agregação física de EPCs filhos em um EPC pai, por exemplo, caixas agregadas a um pallet e pallets agregados a um container;

- *Transaction Event*: descreve a associação ou desassociação de um ou mais EPCs a uma transação de negócio (por exemplo, o pallet EPC 1 com a caixas EPCs 10 a 20 está em Ordem de Compra da Empresa B1234);
- *Quantity Event*: este evento inclui a classe do produto, quantidade, localização e tempo. Este tipo de evento poderá ser usado para monitorar o inventário ou dados sobre vendas de produtos (por exemplo, a dez minutos atrás 20 unidades do Produto X entraram no Armazém Y, ou há uma hora atrás a Loja A vendeu 5 unidades do Produto B).

Além desses quatro tipos de eventos definidos pela EPCglobal, o desenvolvedor poderá estender a especificação criando novos ou acrescentando atributos aos já existentes.

Da mesma forma que o ALE, o EPCIS não é um padrão de implementação e sim um padrão de interface. Portanto, ele não define como as operações de captura devem ser implementas, nem como as bases de dados devem ser organizadas. A especificação EPCIS é formada pelos modelos de dados dos eventos e as interfaces *Capture Interface* e *Query Interface*, ilustradas na Figura 2.7.

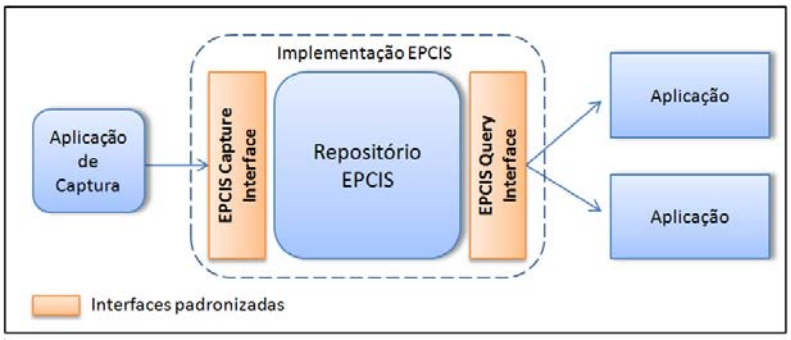

Figura 2.7: *Interfaces do EPCIS.*

A *Capture Interface* não oferece recursos que possibilitem uma aplicação definir o modo como as notificações ALE serão convertidas em eventos EPCIS. Essa interface constitui-se de um único método, o qual permite apenas incluir o evento EPCIS já montado. Ou seja, fica a cargo do desenvolvedor da Aplicação de Captura implementar meios para converter os relatórios ALE em eventos EPCIS, e posteriormente incluir esses eventos no repositório através da *Capture Interface*.

Já a *Query Interface* possibilita que aplicações definam sobre quais eventos EPCIS desejam ser notificadas, por exemplo, delimitando parâmetros de um Object Event de seu interesse.

2.3 Requisitos de CEP para RFID

Os padrões EPCglobal são largamente aceitos e utilizados pela comunidade RFID. No entanto, nota-se que os requisitos de CEP para RFID não são satisfatoriamente atendidos por esses padrões. Por isso, o desenvolvedor de aplicações se limita a utilização de filtros simplistas descritos no padrão ALE e não explora a real capacidade da tecnologia RFID em prover visibilidade dos acontecimentos de um ambiente real.

Nesta seção, discutimos o processamento de eventos complexos na Rede EPC, estando dividida da seguinte forma. Na Subseção 2.3.1 realizamos uma análise da utilização de CEP nos padrões EPCglobal, apontando desafios e requisitos de um middleware CEP que integra-se à Rede EPC. Na Subseção 2.3.2 apresentamos a necessidade de adaptação que um middleware CEP deve possuir para atender os diferentes cenários de aplicação. Por fim, na Subseção 2.3.3, resumimos os principais requisitos levantados.

2.3.1 CEP nos Padrões EPCglobal

A combinação dos padrões definidos pela EPCglobal resulta na chamada Rede EPC. Na Figura 2.8 apresentamos uma simplificação da arquitetura, incluindo apenas os padrões LLRP, ALE e EPCIS.

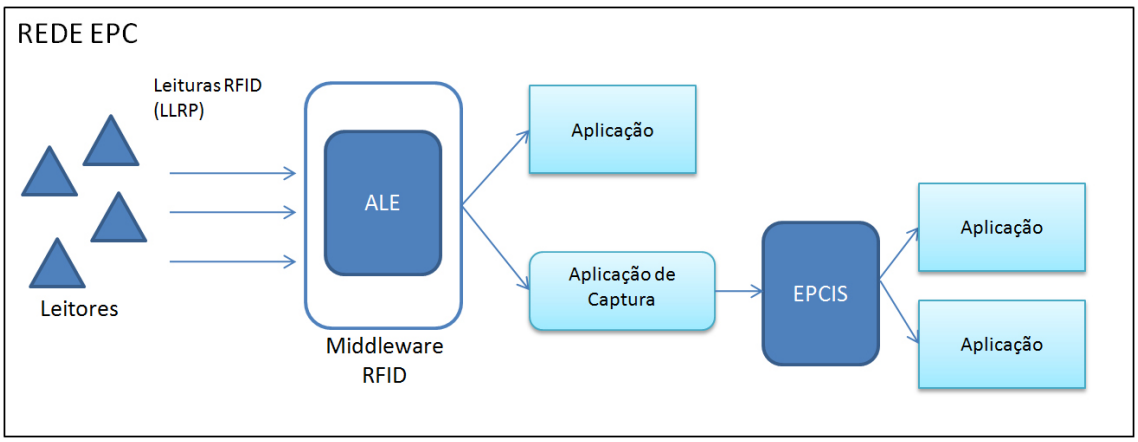

Figura 2.8: *Rede EPC.*

O serviço EPCIS está relacionado principalmente com a movimentação de mercadorias e compartilhamento dessas informações entre os parceiros comerciais. Portanto, aplicações que não se enquadram em uma cadeia de suprimentos, ou estão voltadas apenas para o controle interno de uma empresa, poderão obter dados RFID diretamente da implementação ALE.

Um middleware RFID que implementa a especificação ALE oferece meios para que usuários obtenham dados RFID através de uma interface padrão, abstraindo os desafios de comunicação com os leitores. Além disso, os leitores RFID podem realizar

inúmeras leituras em um pequeno espaço de tempo, gerando informações redundantes. Logo, os filtros e agrupamentos oferecidos pelo ALE destinam-se a minimizar a quantidade de leituras repetidas.

Após a filtragem, a implementação ALE repassa aos usuários os EPCs coletados através de relatórios. Esses relatórios representam eventos simples, pois não constituem uma complexa combinação de diferentes leituras e, sim, uma análise isolada, onde é verificada a correspondência do código EPC com o especificado pelo usuário e se a leitura não é uma duplicata. Portanto, para extrair eventos com maior semântica de negócio, a aplicação deverá implementar as funções de processamento e detecção dos eventos complexos. Por exemplo, se o usuário deseja ser notificado quando um produto for retirado da prateleira por um funcionário não autorizado, ele deverá assinar interesse em leituras RFID no ALE e, a cada notificação da detecção de um produto, verificar se, em um intervalo de 30 segundos, uma etiqueta de funcionário autorizado será lida no mesmo local. A Figura 2.9 ilustra esse exemplo.

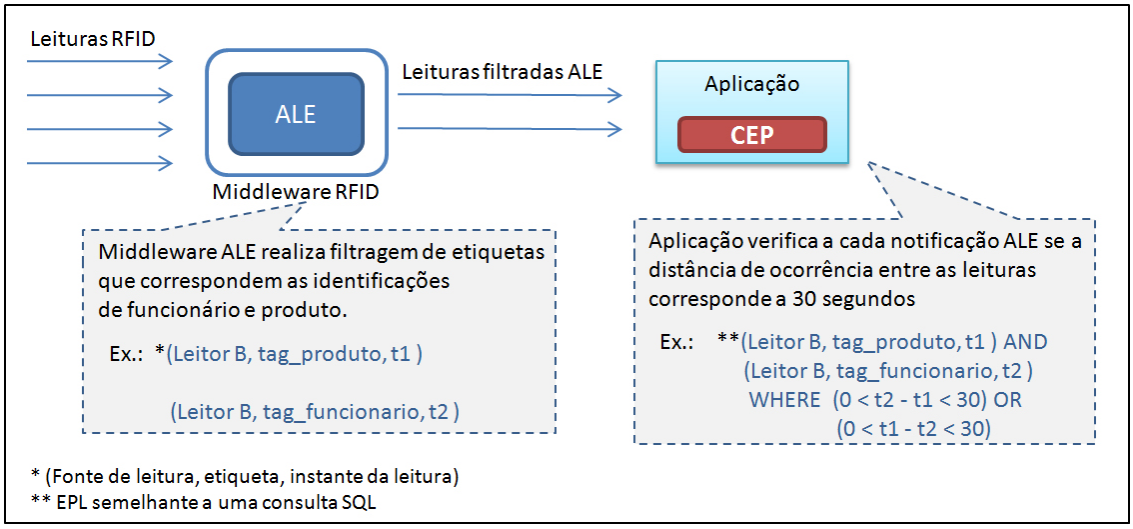

Figura 2.9: *Exemplo de utilização do ALE e processamento de eventos complexos na Aplicação.*

Diferente do ALE, um evento EPCIS pode ser o resultado de uma combinação de diversas leituras RFID. Por exemplo, em uma indústria de produtos eletrônicos, a produção é realizada em diversas etapas de montagem. O Middleware ALE realiza a captura das leituras RFID em cada etapa. E a Aplicação de Captura implementa uma máquina de estados [19] que identifica quando um produto termina todas as etapas de montagem. Quando isso ocorre, um evento EPCIS é gerado e enviado aos parceiros comerciais. A Figura 2.10 ilustra esse exemplo.

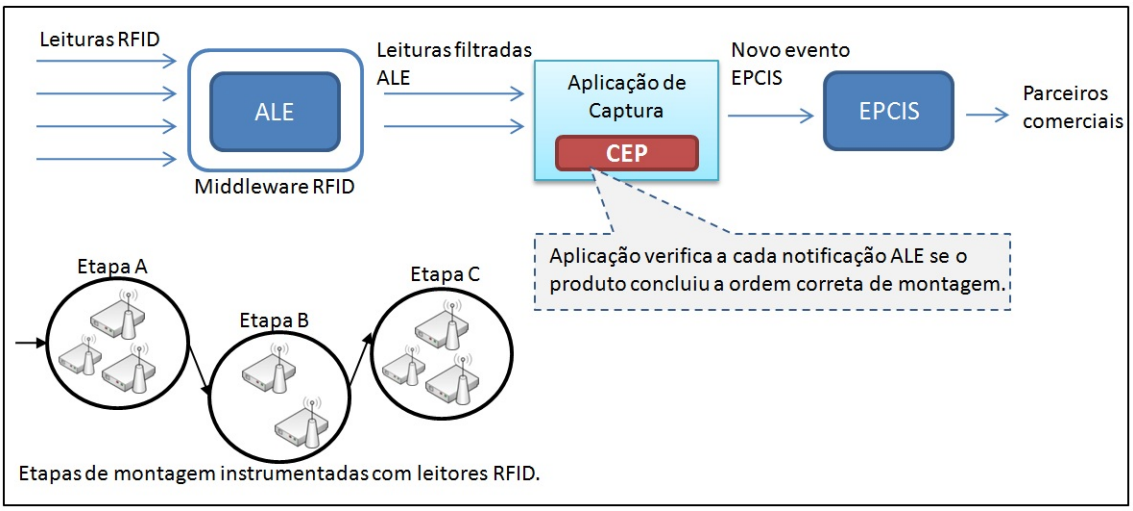

Figura 2.10: *Exemplo de utilização do ALE e processamento de eventos complexos na Aplicação de Captura EPCIS.*

Da mesma forma que o exemplo anterior da Figura 2.9, uma Aplicação de Captura que utiliza um middleware ALE como fonte de dados RFID não encontrará nele recursos suficientes para a complexa combinação de leituras RFID na criação dos eventos EPCIS. Consequentemente a Aplicação de Captura deverá implementar as funções de processamento e detecção dos eventos complexos.

As aplicações RFID necessitam mais do que simples filtragens para extrair todo o potencial de controle e rastreamento que a tecnologia RFID pode proporcionar em seus diferentes cenários de implantação. Os principais padrões em RFID não contemplam satisfatoriamente as reais necessidades das aplicações em processar eventos complexos, obrigando a seus desenvolvedores voltar esforços para a implementação das funções de um serviço CEP. Desse modo, uma melhor organização arquitetural de um sistema RFID deve incluir um serviço CEP, ou middleware CEP, como uma camada adicional ao ALE, possibilitando que diferentes aplicações se beneficiem do processamento de eventos complexos, conforme representado na Figura 2.11.

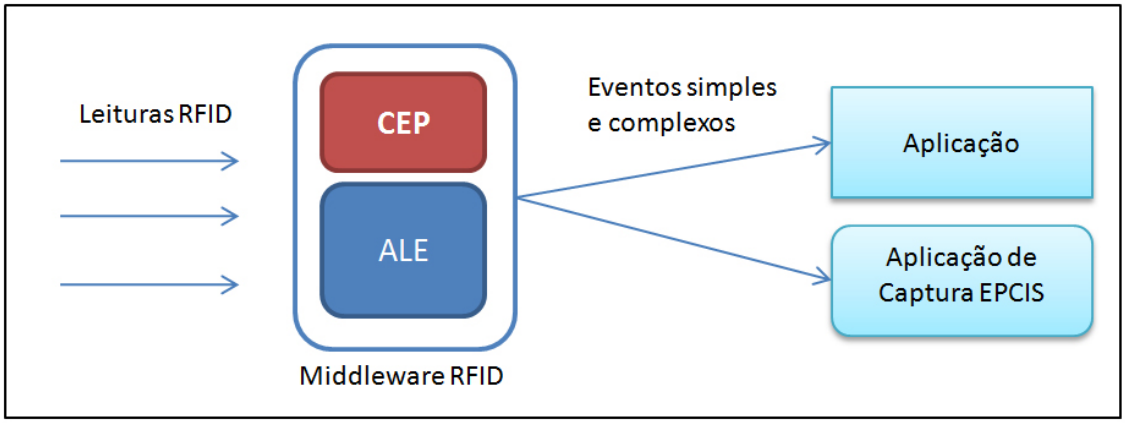

Figura 2.11: *Inclusão de CEP como camada adicional à implementação ALE.*

Os Processadores de Eventos Complexos atuais necessitam de grande esforço na adaptação de protocolos e transformação dos dados para realizar a comunicação com a Rede EPC. Dessa forma, um CEP deveria prover uma interface de definição e notificação dos eventos complexos com princípios e objetos semelhantes aos estabelecidos nos demais padrões EPCglobal. Pois, dessa forma, pode-se proporcionar ao desenvolvedor de aplicações RFID uma experiência uniforme na utilização dos diferentes serviços (CEP, ALE e EPCIS), minimizando a curva de aprendizado para aqueles já familiarizados com os padrões.

2.3.2 Extensibilidade dos Serviços CEP

Ao proporcionar o processamento de eventos complexos como uma camada de middleware, múltiplas aplicações com diferentes necessidades de combinação de eventos poderão acessar esse mesmo serviço CEP. A forma como os eventos são combinados irá variar entre as aplicações, pois tal requisito está diretamente relacionado com as regras de negócio e cenário de utilização da aplicação. A tecnologia RFID pode ser implantada em diversos ambientes, tais como rastreamento de remédios, segurança do trabalho, montagem de produtos eletrônicos, monitoramento de veículos, entre outros. Como oferecer um serviço CEP que atenda as diferentes necessidades de cada domínio de aplicação em diferentes cenários?

Muitas linguagens (EPLs) foram propostas para a descrição de eventos complexos, cada qual trazendo vantagens e desvantagens para diferentes ambientes de implantação do RFID. Por exemplo, em [7] a EPL possibilita a identificação de eventos que seguem uma sequência especificada pelo usuário. Porém, em um laboratório médico, um profissional pode desejar ser notificado quando a sequência de um procedimento de testes não for seguida corretamente. Dessa forma, seria interessante que o serviço CEP possibil-

itasse a notificação de eventos que não seguiram a sequência pré-estabelecida, conforme a EPL do trabalho [2].

Os operadores e funcionalidades possíveis para a descrição de um evento complexo são inúmeras, assim como os cenários de implantação e configuração da tecnologia RFID. Esse fato impossibilita a criação de um CEP que atenda satisfatoriamente as necessidades de todas aplicações. Portanto, um middleware CEP deve possuir uma arquitetura extensível que possibilite a inclusão de novos serviços para a descoberta de eventos complexos permitindo sua adaptação às diferentes aplicações e consequentemente facilitando a manutenção e atualização dos serviços.

A extensibilidade do middleware CEP pode ser realizada com a inclusão de serviços totalmente novos, mas muitas vezes eles podem ser complementares. Como no exemplo anterior, se o middleware do trabalho [7] possibilitasse a inclusão de novos serviços CEP, a reutilização do serviço de identificação de sequência poderia ser feita para implementar a detecção de eventos que não seguem uma sequência, conforme ilustrado na Figura 2.12.

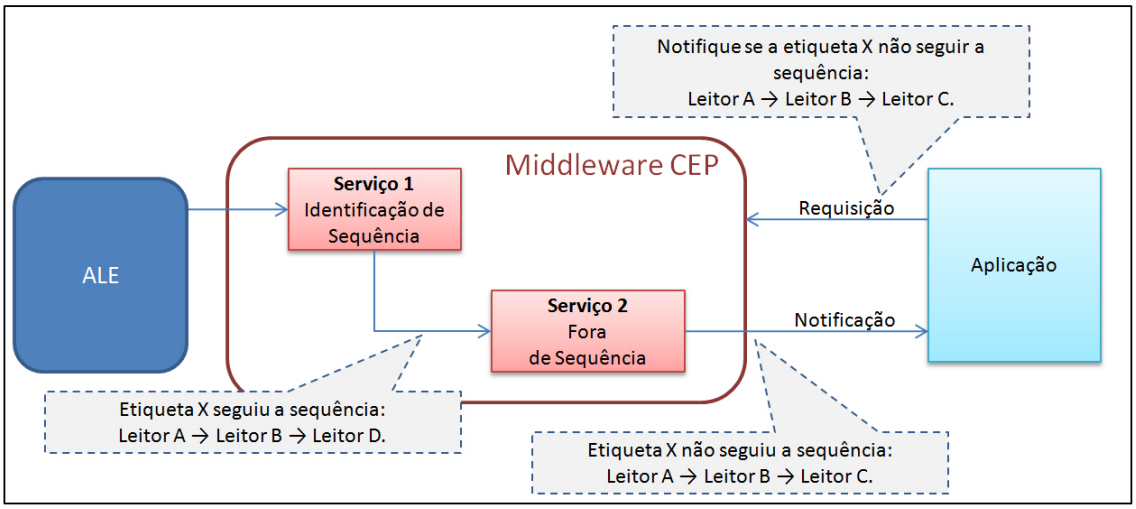

Figura 2.12: *Reutilização de serviços CEP para compor novos.*

2.3.3 Conclusão

Muitos são os desafios de desenvolvimento de uma middleware CEP, tais como escalabilidade, tolerância a falhas, segurança, entre outros. Porém buscou-se nesta seção discutir problemas em aberto que envolvem principalmente o processamento de eventos complexos na Rede EPC. Esses problemas apontaram requisitos e estão resumidos na Tabela 2.1.

No Capítulo 3 apresentamos uma proposta de middleware CEP para RFID, que integra-se à Rede EPC e traz soluções para os requisitos descritos nesta seção.

Requisito	**Descrição**
Processar eventos complexos na Rede EPC.	Os padrões EPC são amplamente aceitos e utilizados pela comunidade RFID, porém não contemplam o processamento de eventos complexos. Portanto um middleware CEP deve integrar-se à Rede EPC permitindo a complexa combinação de eventos simples ALE.
Oferecer interfaces, objetos e princípios semelhantes aos propostos pela EPCglobal.	Um CEP que integra-se à Rede EPC deve disponibilizar ao desenvolvedor de aplicações RFID uma interface de definição e notificação dos eventos complexos com princípios e objetos semelhantes aos estabelecidos nos demais padrões EPCglobal, proporcionando uma experiência mais uniforme na utilização de diferentes serviços, tais como o CEP e ALE, e ainda minimizando a curva de aprendizado para aqueles já familiarizados com os padrões.
Possibilitar a inclusão de novos serviços CEP	Um middleware CEP deve possuir uma arquitetura extensível que permita a inclusão gradual de novos serviços para a descoberta de eventos complexos, permitindo sua adaptação às diferentes aplicações.
Possibilitar a composição e reutilização de serviços CEP	Visando minimizar o esforço de adaptação e criação de novos serviços, um middleware CEP deve ser flexível, possibilitando a combinação dos serviços existentes na criação de novos.

Tabela 2.1: *Requisitos de um Middleware CEP para RFID.*

CAPÍTULO 3

CEPFID - Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID

RFID necessita da utilização de um serviço CEP para correlacionar as diversas leituras de etiquetas e extrair informações com semântica de negócio para as aplicações. Os principais padrões da tecnologia RFID que compõem a Rede EPC não oferecem suporte a essa complexa combinação de leituras, obrigando aos desenvolvedores de aplicações voltarem esforços para a implementação das funções de um CEP.

Sendo assim, faz-se necessária a inclusão de um middleware CEP que proporcione a definição e identificação de eventos complexos na Rede EPC. Esse capítulo traz a descrição da arquitetura e implementação do Middleware para Processamento de Eventos Complexos RFID (CEPFID). Ele representa uma proposta de solução CEP para a Rede EPC, implementando os requisitos levantados no Capítulo 2.

O presente Capítulo está assim dividido: Na Seção 3.1 apresentamos uma visão geral sobre o Middleware CEPFID. Na Seção 3.2 descrevemos os serviços CEP disponibilizados pelo middleware para a definição e detecção de eventos complexos RFID. A arquitetura e protocolos de composição dos serviços são discutidos nas Seções 3.3 e 3.4. Por fim, na Seção 3.5 trazemos as questões de implementação do CEPFID.

3.1 Visão Geral

O Middleware CEPFID foi desenvolvido para proporcionar a definição e identificação de eventos complexos na Rede EPC. Oferece métodos e filtros avançados para descrição dos eventos seguindo princípios semelhantes aos estabelecidos pela EPCglobal em seus padrões, facilitando sua integração e manipulação. A Figura 3.1 mostra o local exato onde atua, servindo como uma ponte entre as Aplicações e o Middleware ALE.

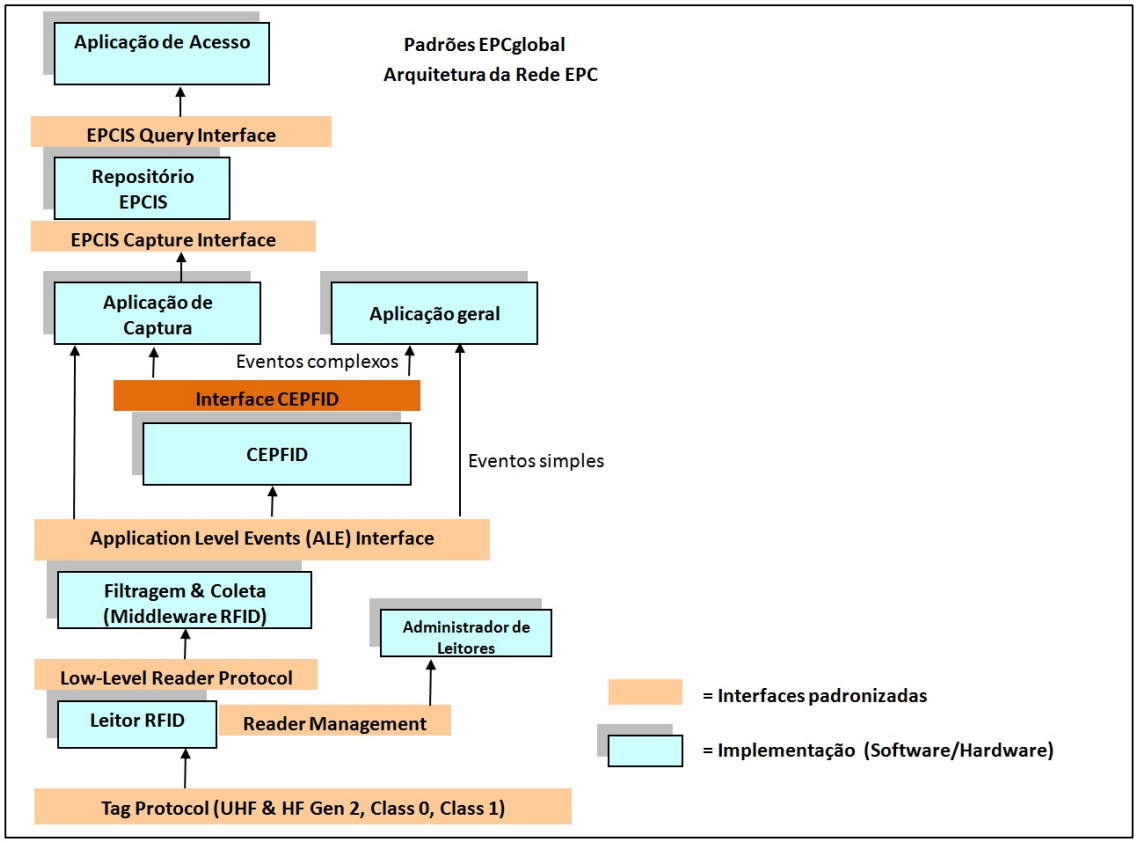

Figura 3.1: *CEPFID na Rede EPC.*

O CEPFID não substitui a utilização do serviço ALE, eles possuem papéis distintos e complementares. O ALE coleta os dados RFID, realizando a filtragem dos EPCs e reduzindo o volume de dados duplicados. O CEPFID irá consumir esses dados filtrados e consolidados pelo ALE, permitindo aos usuários combiná-los em eventos complexos.

A aplicação poderá se beneficiar dos eventos simples ALE ou dos eventos complexos CEPFID, dependendo de sua necessidade. Por exemplo, na Figura 3.2 é ilustrada uma indústria instrumentada com leitores RFID. Em cada etapa do processo de produção existe um conjunto de leitores monitorando a movimentação interna dos produtos. Já os Leitores A e B monitoram as entradas e saídas de cada etapa, notificando leituras de etiquetas que passam de uma etapa a outra.

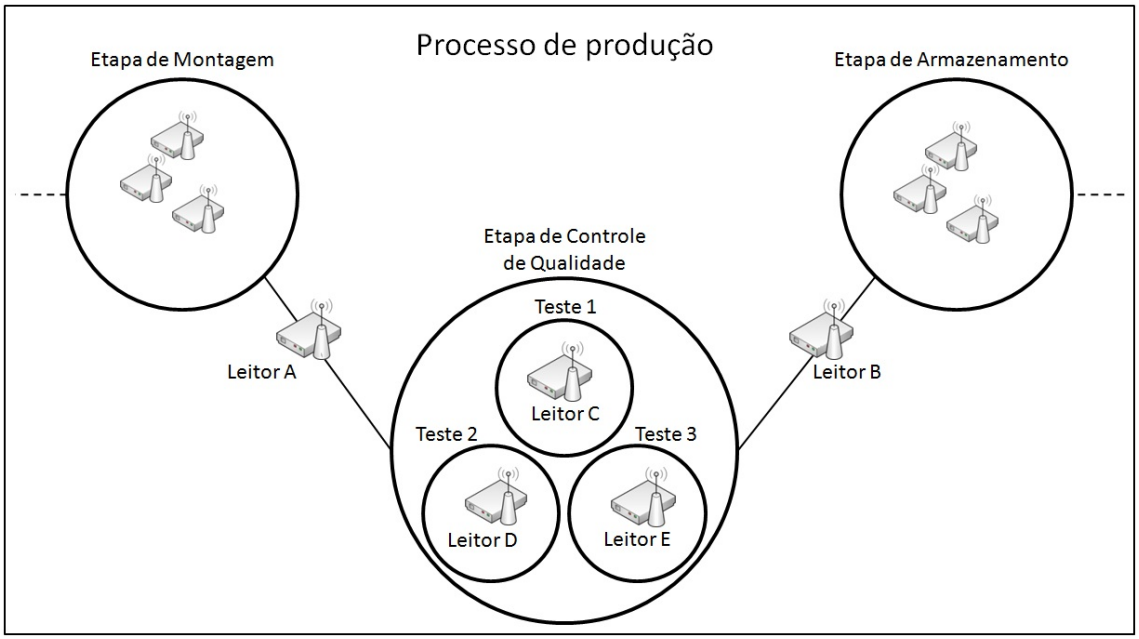

Figura 3.2: *Exemplo de indústria instrumentada com leitores RFID.*

Nesse cenário, as leituras RFID são coletadas e filtradas por um Middleware ALE. Uma aplicação poderia controlar a etapa que cada produto está localizado através da utilização dos eventos simples provenientes do ALE. Por exemplo, a notificação de uma leitura realizada pelo Leitor A é suficiente para a aplicação concluir que um produto passou da Etapa de Montagem para o Controle de Qualidade.

Entretanto, para obter eventos complexos que envolvam uma análise de diferentes leituras, a aplicação deve utilizar o Middleware CEPFID. Por exemplo, o tempo que os produtos devem permanecer em cada etapa poderia ser monitorado estipulando um evento como a seguir: notifique quando um produto passar pelo Leitor A e em seguida não passar pelo Leitor B dentro de 3 horas. Outros eventos complexos também poderiam ser definidos, por exemplo, a aplicação iria realizar o monitoramento dos testes definindo uma sequência específica para cada produto (ex.: Leitora C $\rightarrow$ Leitor D OR Leitor E [1]) e notificar o gerente quando essa sequência fosse concluída ou não fosse executada na ordem correta.

Embora a EPCglobal tenha definido diversos padrões que compõem a Rede EPC, um sistema RFID poderá implementar apenas parte desses padrões. Da mesma forma, o CEPFID não está restrito à implementação de todos os padrões descritos na Figura 3.1. Ele depende apenas de uma implementação da interface ALE para que possa obter

[1] Representação simbólica de um evento complexo utilizada nesse trabalho. O símbolo "$\rightarrow$" denota uma sequência, enquanto os operadores lógicos "AND", "OR" e "NOT" representam a combinação lógica de leituras. No exemplo acima a expressão significa: notifique quando uma etiqueta passar pelo Leitor C e em seguida passar pelos Leitores D ou E.

eventos simples de leituras RFID e, então, prover eventos complexos para as Aplicações de Captura EPCIS ou aplicações em geral.

3.2 Serviços de Processamento de Eventos Complexos

Um evento complexo é composto por uma combinação de outros eventos mais simples. Um serviço CEP oferece métodos e operadores para que os usuários especifiquem o modo como os eventos simples deverão ser combinados. Essa seção descreve os serviços CEP disponibilizados pelo Middleware CEPFID.

Com base nos eventos de negócio descritos na especificação EPCIS [8] e no estudo de artigos que investigam o processamento de eventos complexos para RFID [19, 27, 44, 7, 2] o CEPFID implementa um conjunto de serviços CEP essencial para a definição e detecção dos eventos complexos RFID. A esses serviços foi dado o nome de *CEPFID Services* e estão descritos nas subseções a seguir.

3.2.1 CEPFID Filter Service

Embora uma implementação ALE possa oferecer suporte à captura de dados de sensores diversos (além de RFID), a EPCglobal não especificou métodos para definição de filtros baseados em dados coletados por sensores. A mesma limitação ocorre com as informações contidas no banco de memória das etiquetas RFID, o middleware ALE possibilita ler essas informações, mas não oferece meios para utilizá-las na filtragem das leituras. Portanto, o *CEPFID Filter Service* possibilita que eventos simples provenientes do ALE sejam filtrados através de operadores aritméticos (+, -, *, /) e relacionais (=, !=, >, >=, <, <=) aplicados aos dados de sensores e banco de memória das etiquetas. A Figura 3.3 ilustra alguns exemplos.

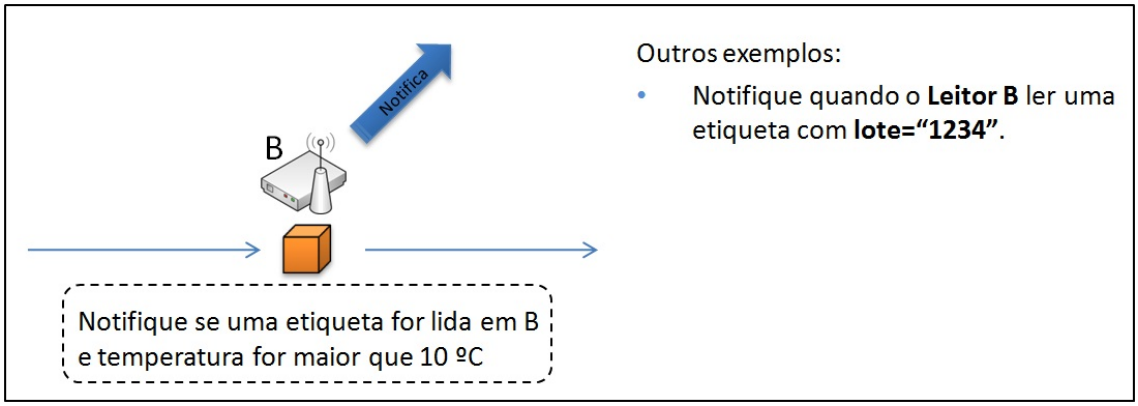

Figura 3.3: *Filtragem por dados de sensores e memória de etiquetas.*

Uma das funcionalidades mais comuns e essenciais em um serviço CEP é a possibilidade de combinar diferentes eventos utilizando operadores lógicos. O *Filter Service* permite também combinar eventos filtrados através dos operadores lógicos AND e OR, bem como definir a precedência das combinações através do uso de parênteses. A Figura 3.4 apresenta exemplos de combinações.

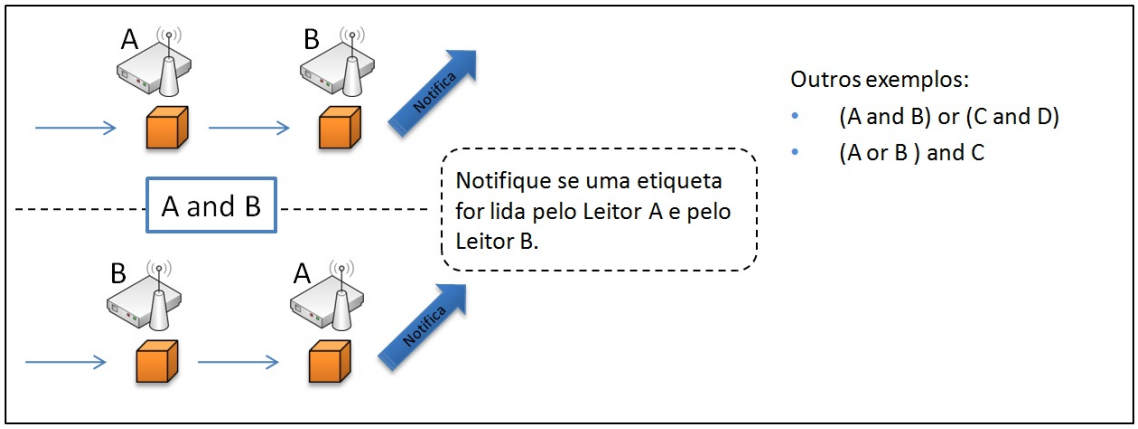

Figura 3.4: *Combinação lógica de eventos RFID.*

3.2.2 CEPFID Sequence Service

Na indústria, o processo de produção é regido por um *workflow* de atividades a serem executadas para atingir o resultado final, e RFID auxilia no monitoramento deste ciclo, identificando conformidades, falhas e desvios realizados pelos produtos e pessoas submetidos ao processo. No entanto, leituras RFID geram um conjunto de eventos não combinados, exigindo a utilização de CEP para expressar que alguns eventos devam ocorrer em uma sequência específica. O *CEPFID Sequence Service* possibilita que clientes definam uma sequência e sejam notificados quando a mesma ocorrer. Esse cenário está representado na Figura 3.5.

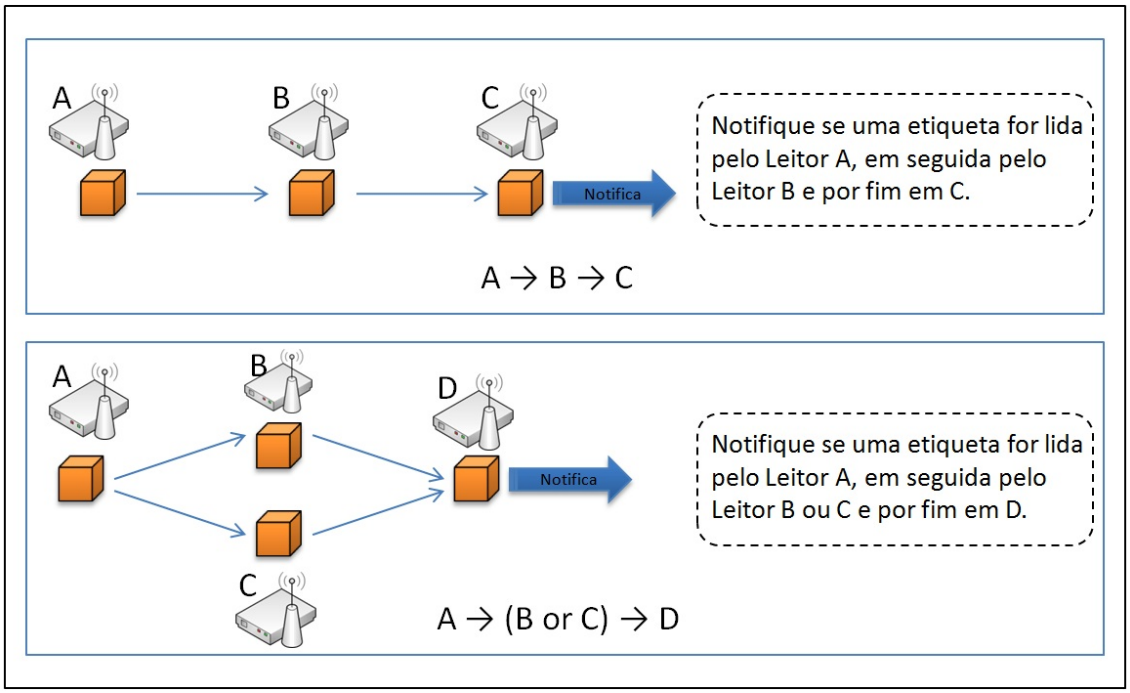

Figura 3.5: *Sequência de eventos RFID.*

Além de identificar eventos dentro de uma sequência, é importante também rastrear itens e pessoas que não seguiram o fluxo previamente estabelecido possibilitando assim uma identificação rápida de falhas no processo. Muitos trabalhos na área de CEP não abordam esse tipo de evento que se mostra essencial para sistemas RFID. Outros trabalhos oferecem esse recurso através do operador lógico **NOT** junto à definição da sequência, o que leva à criação de expressões extensas e de difícil entendimento. O *Sequence Service* busca facilitar a descrição deste tipo de evento, conforme mostrado na Figura 3.6.

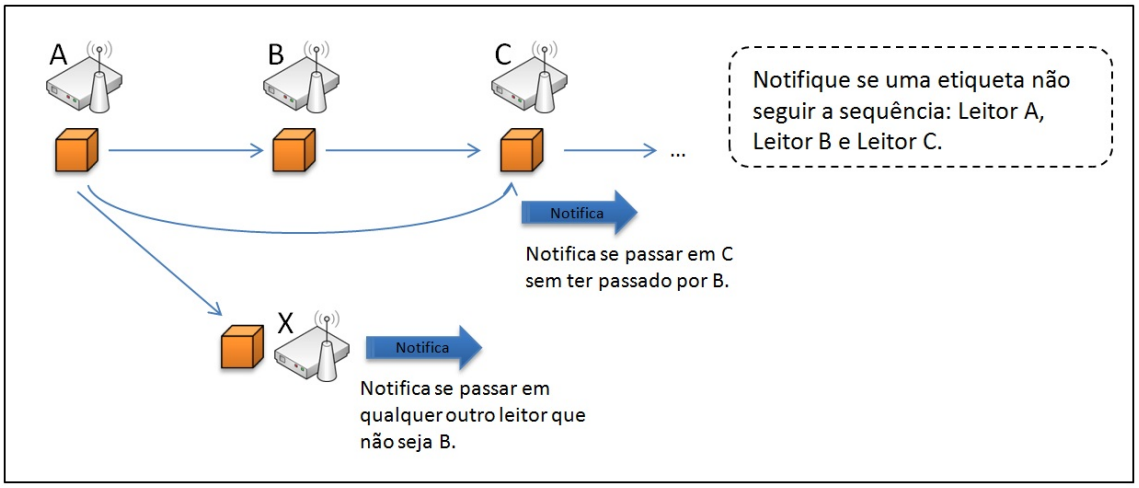

Figura 3.6: *Identificação de eventos que não seguem a sequência estabelecida.*

Uma leitura RFID é composta do identificador da etiqueta e a fonte da leitura, estando esses sempre acompanhados do atributo que representa a hora e dia em que a leitura foi realizada. Trabalhar com restrições temporais é um requisito fundamental para o processamento de eventos RFID, ajudando, por exemplo, no monitoramento da eficiência dos processos de uma empresa ou apontando gargalos no processo produtivo. No *Sequence Service* restrições temporais podem ser aplicadas para cada etapa de uma sequência, sendo realizada de duas formas: notificando quando eventos ocorrem dentro do prazo estabelecido (Figura 3.7), ou quando um evento não ocorre no tempo estabelecido (Figura 3.8).

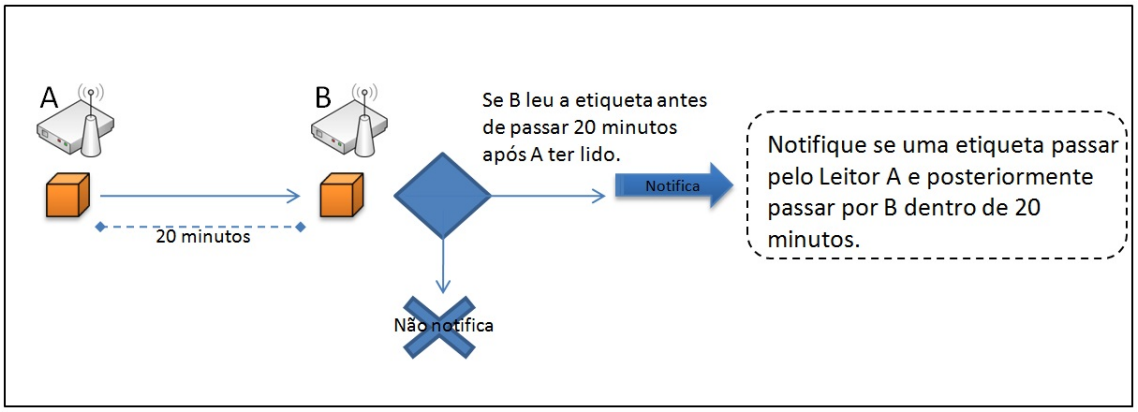

Figura 3.7: *Notifica quando eventos seguem o prazo estabelecido.*

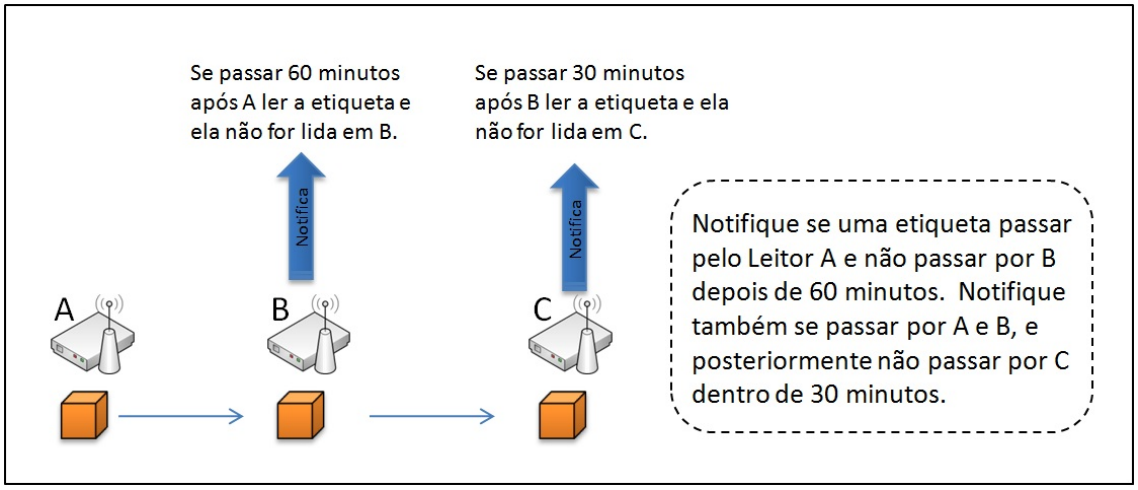

Figura 3.8: *Notifica quando eventos não seguem o prazo estabelecido.*

3.2.3 CEPFID Aggregation Service

A agregação de etiquetas em sistemas RFID é algo bastante comum, pois constantemente é preciso associar itens a uma caixa, ou caixas a um pallet, ou ainda pallets a um carregamento. Agregações em diferentes níveis e de diferentes formas

podem ocorrer em soluções RFID. Na especificação ALE, a agregação pode ser feita baseada no tempo, conforme exposto na Subseção 2.2.1, em "Triggers". Outros trabalhos também trazem a agregação temporal [43, 28], porém, em sua maioria, esta questão não é abordada.

O *CEPFID Aggregation Service* implementa uma forma de agregação diferente dos trabalhos encontrados. Ele permite ao usuário criar *triggers* que delimitam o início e o fim da captura dos eventos complexos que ocorrerem, agregando-os em um único relatório. A diferença consiste do fato de que os triggrers são outros eventos complexos, possibilitando que o cliente especifique, por exemplo, um trigger baseado em dados de um sensor ou uma combinação de leituras RFID. Para melhor entendimento, veja o exemplo da Figura 3.9.

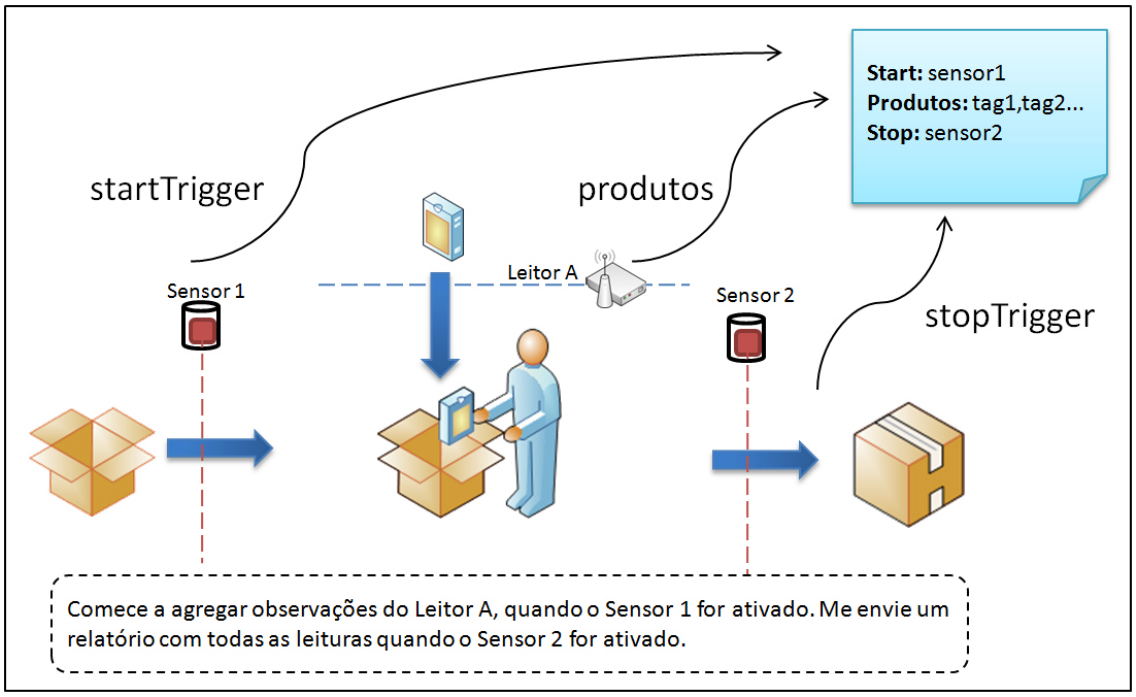

Figura 3.9: *Agregação de eventos por meio de Triggers.*

Nesse exemplo é realizado o encaixotamento de produtos, no qual é necessário agregar as etiquetas de cada produto ao identificador único da caixa. Para isso utilizou-se um sensor de presença que, ao detectar a caixa, inicia o agrupamento das etiquetas dos produtos. Após a leitura de todos os produtos da caixa, ela segue seu percurso e passa por um segundo sensor, identificando o momento de parar o agrupamento e enviar o relatório.

Os *CEPFID Services* listados acima representam o conjunto básico oferecido pelo Middleware CEPFID. Novos serviços poderão ser acrescidos a esse conjunto pelo "usuário-desenvolvedor", conforme será apresentado na Seção 3.4. A seção seguinte descreve os principais aspectos da arquitetura do CEPFID.