

2. Fundamentação teórica

2.1. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

Conforme Bowersox e Closs (2009), a logística nasceu desde o ajuntamento civilizado do ser humano, não sendo uma ciência inventada pela sociedade atual.

A logística surgiu como componente da guerra, cenário no qual extraiu seus ensinamentos primordiais. A palavra logística tem sua origem na Grécia Antiga e remete à disciplina militar como uma das componentes da guerra (RUSSEL, 2011). Embora os combatentes tenham sido autosuficientes nos primórdios das guerras, com o avanço da complexidade, o grupo de militares responsável pela logística era incumbido por abastecer as linhas de frente com os suprimentos necessários para o deslocamento tático (ISLAM *et al.*, 2013).

Tal dinâmica de avanço foi semelhante no campo naval. Primeiramente, os navios de guerra eram utilizados apenas para transporte de tropa e a propulsão a remo (BRASIL, 2003). Ao longo do tempo, a importância do efetivo controle de suprimentos a bordo foi ganhando relevo sendo direcionado junto à complexidade da tecnologia embarcada, bem como com à autonomia desejada nas grandes jornadas marítimas. Por exemplo, os processos de armazenagem e os cálculos de distribuição de víveres para cada marinheiro a bordo das belonaves lusitanas a vela na época das Grandes Navegações (BUENO, 2006).

A humanidade viveu sua primeira grande transformação nos processos de negócio com o advento da Revolução Industrial, alterando também o *modus operandi* da guerra com armamentos e explosivos modernos e navios a vapor. Por conseguinte, a complexidade do abastecimento de suprimentos às Forças Armadas foi percebida.

Buscando o avanço necessário dos conceitos e estudos relacionado à logística, dois grandes autores se destacaram da primeira metade do século XIX, a saber: General Carl Phillip Gottlieb von Clausewitz, militar da Prússia (parte da Alemanha atualmente) e Antoine-Henri Jomini, nobre francês que se destacou nas guerras napoleônicas. Clausewitz distinguia a guerra em dois grandes componentes: tático e estratégico. Não elencava a logística como uma

componente da guerra, contudo reconheceu que "em nossos dias, existe na guerra um grande número de atividades que a sustentam (...), que devem ser consideradas como uma preparação para esta" (BRASIL, 2003). Nada obstante, foi Jomini que, pela primeira vez, lançou mão da palavra logística, conceituando-a como "a ação que conduz à preparação e sustentação das campanhas", delimitando-a como "a ciência dos detalhes dentro dos Estados-Maiores" (BRASIL, 2003).

Até 1888, tais conceitos não alcançaram desenvolvimento científico, quando então o Tenente Rogers introduziu a logística, como matéria, na Escola de Guerra Naval dos Estados Unidos da América (EUA) (BRASIL, 2003).

Deveras, até a Primeira Guerra Mundial, a palavra logística não era utilizada na literatura, substituindo-a por termos como "Administração", "Organização" e "Economia de Guerra". Afirma-se que a genuína utilização da logística como ciência foi engendrada e desenvolvida pelo Tenente-Coronel Thorpe, do Corpo de Fuzileiros Navais dos EUA que, em meio a Primeira Guerra Mundial, publicou o livro "Logística Pura: a ciência da preparação para a guerra".

Thorpe elevou a logística como componente da guerra tão importante quanto a estratégia e a tática, conforme Brasil (2003): "a estratégia e a tática proporcionam o esquema da condução das operações militares, enquanto a logística proporciona os meios". Dessa forma, é notório que a logística desempenhava papel preponderante na guerra, uma vez que só por meio da interdependência harmoniosa entre os três componentes uma Força poderia alcançar êxito.

De acordo com Brasil (2003), o Almirante Henry Eccles, Chefe da Divisão de logística do Almirante Nimitz, durante a Segunda Guerra Mundial (campanha do Pacífico), considerado como o "pai da logística moderna", afirmou que os EUA teriam economizado milhões de dólares na condução da 2ª Guerra Mundial, se atentassem para os ensinamentos da obra de Thorpe.

Segundo Russel (2011), o conceito de logística como gestão, na sua origem, está intimamente relacionado ao campo militar, tendo sido aplicada posteriormente dentro do Setor Privado para atividades comerciais (ISLAM *et al.*, 2013).

Isto posto, ressalta-se o relacionamento biunívoco entre o desenvolvimento da logística militar e da logística aplicada a área comercial, bem como o intercâmbio de informações e práticas entre os dois setores. Demonstra-se como exemplo do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos ou SCM - *Supply Chain*

Management nascido no setor comercial e encampado pelo DoD (RUSSEL, 2011).

Portanto, posteriormente serão discorridos os conceitos sobre a logística militar e a empresarial, bem como a sua evolução para o SCM.

2.1.1. Logística Militar

A logística possui papel primordial ao prover os recursos que apoiam às forças combatentes necessárias à defesa da Pátria. Sob o fulcro do Manual de Logística da Marinha EMA-400 (BRASIL, 2003), a logística militar é definida como “o conjunto de atividades relativas à previsão e à provisão dos recursos e dos serviços necessários à execução das missões das Forças Armadas”.

O Ministério da Defesa conceitua Logística Militar como “o conjunto de atividades relativas à previsão e à provisão dos recursos e dos serviços necessários à execução das missões das Forças Armadas” (BRASIL, 2003).

A Marinha do Brasil adota a seguinte definição, conforme descrito em Brasil (2003):

“Logística é a componente da arte da guerra que tem como propósito obter e distribuir às Forças Armadas os recursos de pessoal, material e serviços em quantidade, qualidade, momento e lugar por elas determinados, satisfazendo as necessidades na preparação e na execução de suas operações exigidas pela guerra.”

Apesar da existência de aspectos peculiares a cada Força, Brasil (2003) define a logística naval como “ramo da logística militar concernente aos meios, efetivos e organizações de comando, controle, comunicações e apoio empregados pela Marinha para atender às necessidades das forças navais”. Ressalta-se que a logística militar inclui o gerenciamento de recursos de pessoal, não contemplado na logística empresarial.

O papel crítico da logística militar no sucesso ou fracasso de uma força combatente é endossado também pela História. Citam-se os seguintes exemplos: a utilização da tecnologia RFID na Guerra do Iraque sendo aplicada para rastrear equipamentos em movimento entre bases americanas no Afeganistão e no Iraque e gerando vantagem logística às Forças dos EUA (RFID JOURNAL, 2012b); a malograda Operação Barbarossa em virtude da quebra de reabastecimento de itens de

sobressalentes, falta de combustíveis dos *panzers* e itens de fardamento básicos para as Forças do *Wehrmacht* (BEEVOR, 2005).

Logo, o desenvolvimento logístico das Forças Armadas brasileiras é imperativo para garantir a prontidão das forças combatentes em tempo de guerra ou paz. Por exemplo, desde junho de 2004 o Brasil comanda a força militar da missão de paz da Organização das Nações Unidas (ONU) no Haiti (também chamada de “*Minustah*”), bem como comanda a Força Tarefa Marítima componente da operação de paz de Força Tarefa Interina das Nações no Líbano (UNIFIL), utilizando uma fragata.

2.1.2. Logística Empresarial

A logística era entendida como o abastecimento do fluxo de material, gerenciamento do material na fabricação e a distribuição para os clientes (ISLAM *et al.*, 2013).

Com as mudanças de paradigma do pensamento de gestão, impulsionados pelas transformações advindas de diversas áreas do conhecimento (RUSSEL, 2011), ultimamente nítidos no processo de globalização, a logística possui uma nova abordagem, abarcando outras atividades, tais como: gerenciamento logístico integrado, gerenciamento de distribuição física, compras e suprimentos, gerenciamento do fluxo de produção (ISLAM *et al.*, 2013). Os benefícios do gerenciamento logístico passam a chamar a atenção das organizações empresariais, visando o alcance de competitividade no mercado, emergindo a logística empresarial como um ramo desenvolvido da logística.

“A logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável” (BALLOU, 2011).

Islam *et al.* (2013) visualizam o conceito de logística como uma abordagem integrada entre informação, transporte, armazenagem, inventário, manuseio do material e mais recente a segurança.

O Conselho de Gerenciamento Logístico ou CLM - *Council of Logistics Management* CLM definiu logística como sendo “o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das

informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos cliente” (BALLOU, 2006).

Em 2005, o CLM passou a se chamar *Council of Supply Chain management Professionals* – CSCMP e, em busca de adequar o conceito de logística de acordo com as transformações ocorridas, refinando a conceituação anterior definida pelo CLM, consignou em 2013 a seguinte definição:

“Logística é o processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos relacionados ao transporte e à armazenagem de bens, de maneira eficaz e eficiente, além do fluxo de informação, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às necessidades dos clientes. Esta definição inclui movimentos internos e movimentos externos de material.”

Logo, o advento da gestão coordenada de atividades interligadas, que outrora eram gerenciadas de forma distinta, bem como do conceito de adição de valor pela logística para a satisfação do cliente, impulsionaram maiores evoluções no conceito de logística, culminando com a chamada revolução do *Supply Chain Management (SCM)* (BALLOU, 2006; RUSSEL, 2011).

A diferença de conceitos essenciais à concepção da caminhada evolutiva da logística é mister para o entendimento de conceitos atuais do SCM. A seguir, a Figura 1 ilustra características distintas entre a visão clássica da logística e o moderno conceito de SCM:

Características	Logística Clássica	Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos
<ul style="list-style-type: none"> • Ponto de partida • Organização • Estratégia • Visão • Foco da gestão • Padrões de desempenho • Escolha de parceiros • Conectividade entre parceiros • Ambiente contratual • Relacionamentos • Objetivos do relacionamento • Objetivos da aquisição • Carteira de fornecedores • Visão antecipada de fornecedores • Verificação de material • Ambiente de negócio • Abordagem da função transporte • Abordagem da função estoques • Fluxo de material • Fluxo de informação • Custo e serviços logísticos • Foco em custos • Foco no Apoio de ativos • Risco 	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos pré-determinados • Áreas funcionais blindadas • Plano de ação cristalizado • Visão • Otimização da logística • Orientação aos fornecedores • Competição • Contratos curto tempo de duração • Legalidade • Transacional • Vantagens oportunistas • Custo mínimo • Enorme base de fornecedores • Origem • Inspeção de material • Competição • Custo mínimo • Sistema empurrado de demanda • Planejamento • Padrões industriais e auditorias • Trade-off • Custo de aquisição • Estoques • Baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reinvenção dos processos de negócio • Integração da cadeia • Flexibilidade e reponsividade • Sistema cíclico • Otimização de toda a cadeia • Orientação ao cliente • Cooperação e negociação • Contratos de longa duração e alianças estratégicas • Confiança institucional • Colaboração • Mutualismo e continuidade • Maior valor • Classe de fornecedores • Recursos • Certificação de fornecedores • Ganhos mútuos • Consistente e versátil • Sistema puxado de demanda • Auto-sincronização • ERP, EDI, internet, RFID, etc • Reengenharia de processos visando aumento de serviço e minimizar custos • Custo total da cadeia • Fluxo • Alto

Figura 1: Características da logística clássica x SCM
Fonte: Adaptação Russel (2011).

2.1.3. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - SCM

Antes de adentrar no conceito de SCM, faz-se mister discorrer sobre a literatura acadêmica de definição de SC - *Supply Chain* ou Cadeia de Suprimentos (CS).

Beamon (1998) define CS como processo de produção estruturado transformando a matéria-prima em produto final e entregue ao cliente final.

Piennar *apud* Janvier-James (2012) define como uma descrição geral dos processos de integração envolvendo organizações a fim de transformar matéria-prima em produto final, considerando também o transporte até ao consumidor final.

Para Ballou (2006), a CS abarca um conjunto de processos que permeiam o fluxo de produção desde a matéria-prima até o cliente final, aliado aos respectivos fluxos de informação, ressaltando que bens e informações escoam biunivocamente na CS.

As definições acima focam nas competências centrais de uma efetiva CS, enfatizando o processo de transformação da matéria-prima até a entrega ao consumidor final do produto acabado (JANVIER-JAMES, 2012).

Little *apud* Janvier-James (2012) define CS como o fluxo de produtos e o fluxo de informações ligadas a estes de forma coordenada e combinada até ao cliente final.

Mentzer *et al.* (2001) delimitam a CS como um conjunto de organizações ou indivíduos diretamente envolvidos no fornecimento e na distribuição do fluxo de produtos, serviços, finanças e informação do ponto de origem até ao cliente final.

Whitten, Green Jr. e Zelbst (2012) também definem a CS como parte da cadeia de valores, cuja extensão percorre desde fornecedores dos fornecedores até ao consumidor final. A cadeia de valores é um conjunto de atividades que são realizadas visando o desenvolvimento, produção, comercialização, entrega e sustento de seu produto.

Ao introduzir uma nova concepção sobre CS, Janvier-James (2012) acolheu a abordagem de CS, ajustando todos os processos funcionais que agregarão valor.

O CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals* (2013) conceitua de duas maneiras a CS, a saber: iniciando com matéria-prima não processada e finalizando no consumidor final por meio dos produtos acabados, a cadeia de suprimentos liga várias empresas; o intercâmbio de informações e material nos processos logísticos permeados desde a aquisição da matéria-prima até a entrega do produto ao cliente final. Todos os fornecedores, provedores de serviços e clientes estão ligados à cadeia de suprimentos.

Lambert e Cooper (2000) ressaltam a importância das CS nos processos de negócio modernos no novo paradigma de competitividade com o gerenciamento integrado de toda a cadeia. Para os autores, a abordagem da competição empresarial não é mais empresa x empresa, mas sim fornecedores – marca – loja x fornecedores – marca – loja ou CS x CS.

O crescimento da competitividade dentro do cenário empresarial impõe às organizações a necessidade de inovar processos orientados ao atendimento das demandas de seus clientes. Com vistas a criar barreiras às ameaças externas, as organizações estão lançando mão de alianças estratégicas junto a seus fornecedores e clientes, mitigando tempos de entrega, estoques imobilizados, custos, preço final, bem como incrementando a versatilidade organizacional e a eficiência da produção e distribuição até consumidor final. Neste viés, cada organização participante da cadeia de suprimentos deslocou seu enfoque central dos problemas logísticos intra-organização, debruçando-se também sobre a perspectiva interorganizacional ao longo da cadeia.

Gunasekaran e Ngai (2012) enxergam o SCM como deflagrador de impactos positivos no desempenho das organizações, trazendo competitividade em termos de preço, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e capacidade de respostas no cenário global.

Conforme Figura 2, podemos observar a evolução do enfoque gerencial do conceito de logística ao longo dos séculos XX e XXI até culminar no surgimento do conceito SCM, traçando paralelo com o desenvolvimento militar das atividades logísticas:

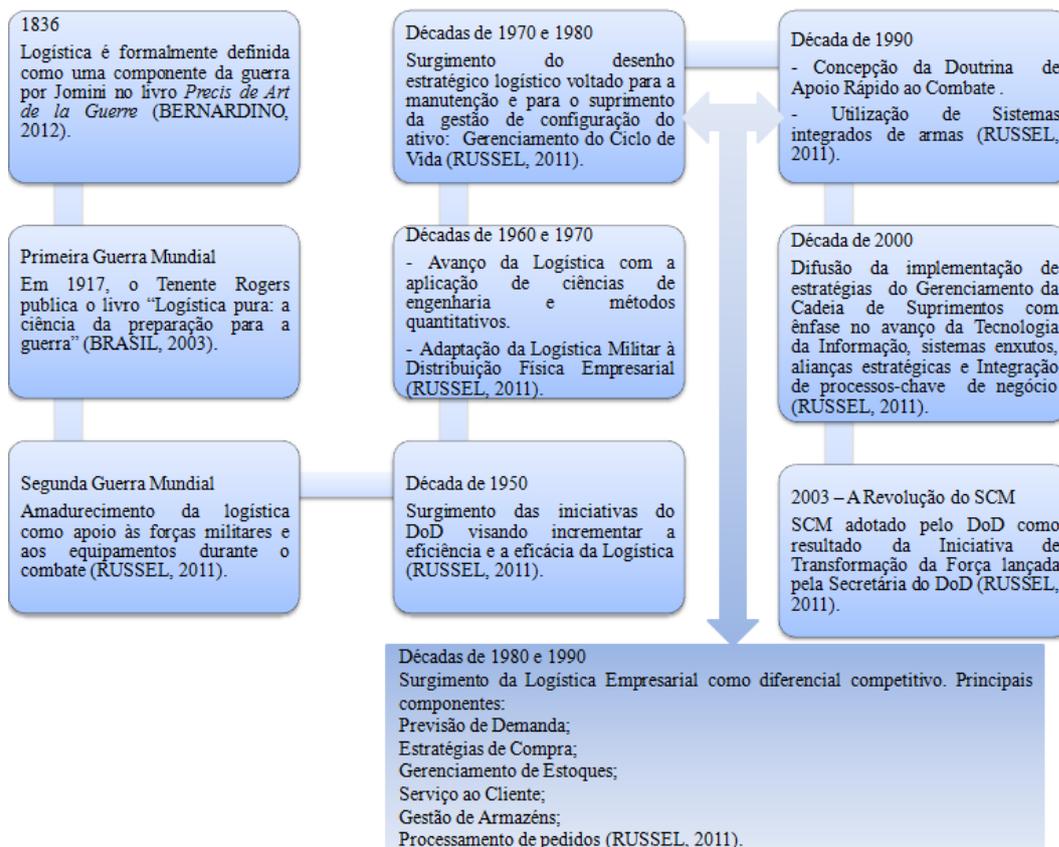


Figura 2: Desenvolvimento da logística até ao SCM.

Fonte: Adaptação Russel (2011)

De acordo com Christopher *apud* Janvier-James (2012), a CS refere-se a redes organizacionais que estão envolvidas em diversos processos e atividades visando criar valor aos bens produzidos e entregues ao cliente final. Tem-se que o SCM é a coordenação estratégica e eficiente dos convencionais nichos de negócios, cruzamento entre as estratégias dos nichos de negócio intra-organização e ainda o entrelaçamento de negócios dentro de CS, com vistas não só ao desenvolvimento da performance de longo prazo da organização, mas também da CS como um todo.

A noção de SCM está diretamente ligada com o processo produtivo globalizado, cujos atores envolvidos da CS encontram-se espalhados ao redor do mundo imersos em um mercado mundial competitivo, criando um fluxo de material e informação. Os nós conectados da CS podem alcançar funções que contribuem para a adição de valor. (JANVIER-JAMES, 2012)

O gerenciamento da cadeia de suprimento também é conceituado como um conjunto de métodos utilizados para coordenar eficazmente fornecedores, produtores, armazéns e lojas, visando a produção e distribuição da quantidade exata,

alocação correta e no tempo preciso, para reduzir custos e aumentar o nível de satisfação do cliente (SIMCHI-LEVI *et al. apud* JANVIER-JAMES, 2012).

A decorrência lógica das definições acima é o SCM operando de forma rápida, confiável, com custos enxutos e posicionamento flexível suficiente para atender os requisitos do cliente.

Em outra visão de SCM, define-se como todas as atividades à jusante e à montante da CS executadas de forma orquestrada e coordenada para sincronizar os fornecedores ao nível de demanda, o compartilhamento de informação e tecnologia para criar inovação e diminuir o ciclo de desenvolvimento de produtos, tempo de processamento de pedidos, fluxos de reposição de estoques, responder às demandas do cliente eficientemente e efetivamente, reduzir custos e aumentar o nível de satisfação do cliente (RUSSEL, 2011).

Russel (2011) alerta para que não haja sobreposição dos conceitos de SCM e logística integrada. Para o autor, aquele é mais abrangente do que este, pois inclui operações de produção com interface entre área financeira e comercial; conexão de processos de negócio, compartilhamento de riscos e envolvimento do fornecedor desde a concepção do desenvolvimento do produto. Ainda sim, o autor sintetiza o SCM como o somatório dos seguintes nichos funcionais: alianças estratégicas, tecnologia da informação, produção enxuta, logística enxuta, integração de processos-chave de negócio.

Em 2013, o CSCMP estabeleceu o conceito de SCM englobando o planejamento e o gerenciamento de todas as atividades de gerenciamento logístico. Tal conceito também ressalta a coordenação e a colaboração com membros da cadeia (fornecedores, intermediários, provedores logísticos 3PL e clientes), integrando o gerenciamento de fornecedores ao gerenciamento da demanda dentro das empresas e através dos membros da cadeia. Por fim, SCM é integração funcional de responsabilidades centrais que vinculam os principais processos de negócio dentro de uma mesma organização ou entre organizações resultando em modelo de negócio mais coeso e com alto desempenho.

O SCM tem sido utilizado amplamente pelas organizações para incrementar o nível de suas capacidades com vistas a estruturar-se de forma flexível e ágil acompanhando as mudanças de requisitos do mercado global. (GUNASEKARAN *et al. apud* MEHRJERDI, 2009).

Como disciplina acadêmica, o SCM tem despertado o interesse de muitos acadêmicos, pesquisadores e profissionais do ramo (MEHRJERDI, 2009; JANVIER-JAMES, 2012; KOTZAB *et al.*, 2011; SONI e KODALI, 2013; ISLAM *et al.*, 2013). Ademais, possui forte influência de várias áreas do conhecimento, dentre as quais: logística e transporte, gestão de operação de produção, gestão de distribuição física, marketing, compras e tecnologia da informação (GIUNEPERO *apud* SONI e KODALI, 2013).

O estado da arte em SCM têm sido as recentes pesquisas sobre como adotar e executar o SCM dentro de uma organização, ou seja, a adoção de modelos delineados na literatura cada qual possuindo características peculiares (ISLAM *et al.*, 2013; JANVIER-JAMES, 2012; KOTZAB *et al.*, 2011; SONI e KODALI, 2013).

O Apêndice demonstra estes modelos genéricos de SCM, ilustrando diferentes conceitos engendrados pela literatura acadêmica especializada sob três dimensões:

- Execução do SCM.
- Adoção de processos do SCM.
- Condições para o SCM.

Ainda por meio do Apêndice, verifica-se a evolução dos conceitos e modelos de SCM ao longo do tempo, bem como a importância da utilização da TI ao longo da CS. Também torna-se evidente o objetivo do SCM ao proporcionar um ambiente de integração dos processos de negócio, gerando valor para toda a cadeia, desde fornecedor da primeira camada (LAMBERT e COPPER, 2000) até ao consumidor final.

Em Lambert e Cooper (2000) e Lambert (2004) estão ausentes os aspectos pertinentes para um Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos por excelência, os quais foram expostos e analisados no Apêndice, sobretudo em relação às estratégias dentro da CS, Gestão Estratégica, TI, Gestão Colaborativa, Missão e Visão de toda Cadeia de Suprimentos.

Há paralelos importantes entre os conceitos basilares de Lambert e Cooper (2000) e os resultados de pesquisas elaboradas por Soni e Kodali (2013). Em um ponto, as abordagens são categóricas: a necessidade de integração entre os participantes e o gerenciamento dos processos em toda a cadeia é a chave para o sucesso de todas as organizações que compõem a CS.

Lambert (2004) não explora aspectos relacionados ao ferramental que permite a exequibilidade do SCM, como por exemplo, a TI. Contudo, Cigolini *et al.* (2004) apontavam para a TI como suporte primordial para o SCM.

Anteriormente a Soni e Kodali (2013), Mehrjerdi (2009) ao pesquisar sobre a modelo de SCM propõe a utilização da TI, mais precisamente o emprego de tecnologias tais como RFID e internet para alcançar a coleta automática de dados, análise on line de dados e tomada de decisão em tempo sob o escopo de apoio para decisões estratégicas.

Em todas as abordagens citadas, é percebida a relevância da TI aplicada ao SCM permitindo o fluxo dinâmico de informações entre os elos da cadeia de suprimentos, alavancado pelo avanço tecnológico, incrementando a eficiência da CS (TURBAN *et al.*, 2004).

2.2. SCM de sobressalentes

Define-se sobressalente ou peça de reposição como o suprimento destinado à eventual substituição de seu similar instalado em equipamento ou unidade, por motivo de extravio, desgaste, avaria ou prevenção de avaria (BRASIL, 2009).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos de sobressalentes (CSS) constitui-se um desafio para as organizações em face das características peculiares atinentes aos itens de reposição. O desafio perseguido pelo SCM de sobressalentes é a redução dos custos operacionais mantendo os requisitos de nível de serviço ao cliente (ANDERSSON e MARKLUND *apud* KHAJAVI *et al.*, 2014).

Gebauer *et al.* (2011), analisando o SCM de sobressalentes do mercado chinês, afirmam que 17% das receitas das indústrias de bens de capital provêm da comercialização de sobressalentes. Ainda afirmam que a margem de contribuição de sobressalentes alcança 25% enquanto a comercialização do próprio bem de capital representa 2% a 3%.

Nada obstante, recorrendo ao mercado norte-americano, conforme pesquisa do *United State Logistics and Materiel Readiness Office*, em 2009, o seguimento militar nos EUA movimentou USD 194 bilhões em operações logísticas e gerenciamento da cadeia de suprimentos de sobressalentes (CSS), com USD 104 bilhões em suprimentos; USD 70 bilhões em manutenção e USD 20 bilhões em transporte. No final de 2009, as Forças Armadas americanas detinham em estoque

a quantidade de 4,6 milhões de *Stock Keeping Units* (SKU) de sobressalentes, cujo valor perfazia a incrível quantia de USD 94 bilhões. (KHAJAVI *et al.*, 2014).

Karsten e Basten (2014) afirmam que um trilhão de dólares todos os anos nos EUA são investidos no mercado de sobressalentes e serviços pós-venda, representando assim 8% do PIB americano.

Tais valores e percentuais expõem a importância de se possuir investimento em pesquisa no SCM de sobressalentes, a fim de minimizar os custos incorridos ao longo da cadeia.

A imprevisibilidade da demanda é um aspecto peculiar à CSS acarretando um ambiente de incerteza na operação do SCM (FAN *et al.*, 2010). Em tais situações, visando proporcionar o nível de serviço ao cliente, ocorre o acúmulo de estoques ao longo da CS (GEBAUER *et al.*, 2011; KHAJAVI *et al.*, 2013; SCALA *et al.*, 2014). Outro aspecto importante é a necessidade de fornecedores apoiarem (serviços e sobressalentes) equipamentos de gerações anteriores, bem como lançamentos. Tal necessidade demanda dos fornecedores o aumento do gerenciamento de *stock keeping unit* - SKU.

Conforme literatura especializada, existem dois tipos de peças de reposição: itens reparáveis ou itens de consumo ou descartáveis (BOTTER e FORTUIN, 2000; SILVER *et al.*, 1998; WANKE, 2012). Os itens reparáveis possuem viabilidade técnica e econômica para a condução do reparo. Se ocorrer alguma avaria, o item reparável será substituído por um novo e encaminhado para uma oficina de reparo, e após o condicionamento será disponibilizado em estoque. Já os itens de consumo são peças que não possuem viabilidade técnica nem econômica para seu condicionamento. Caso ocorra alguma avaria, a peça antiga será descartada e substituída por uma nova (GOMES e WANKE, 2008).

A logística de sobressalentes inclui também a abordagem sobre manutenção, confiabilidade, SCM, produção e controle de estoque, aspectos estratégicos como instalação de rede de suprimentos e análise de níveis de serviço (GEBAUER *et al.*, 2011). Os itens de sobressalentes, ou *spare parts*, são comumente utilizados nos serviços de manutenção ou reparo do equipamento.

Acerca dos aspectos de manutenção e confiabilidade, emergem os problemas de serviço técnico pós-venda que tramitam entre os recursos de mão-de-obra especializada, suprimentos e funcionamento do próprio produto ou equipamento. Há também algumas questões a serem respondidas de como se conduzirá a manu-

tenção nos equipamentos, tais quais: quando reparar o equipamento? Quem irá reparar o equipamento? Qual é o controle ciclo de vida do equipamento? A título de exemplo, na Figura 3, observa-se a cadeia de suprimentos e manutenção dos sistemas de armas do Exército dos EUA (FAN *et al.*, 2010):

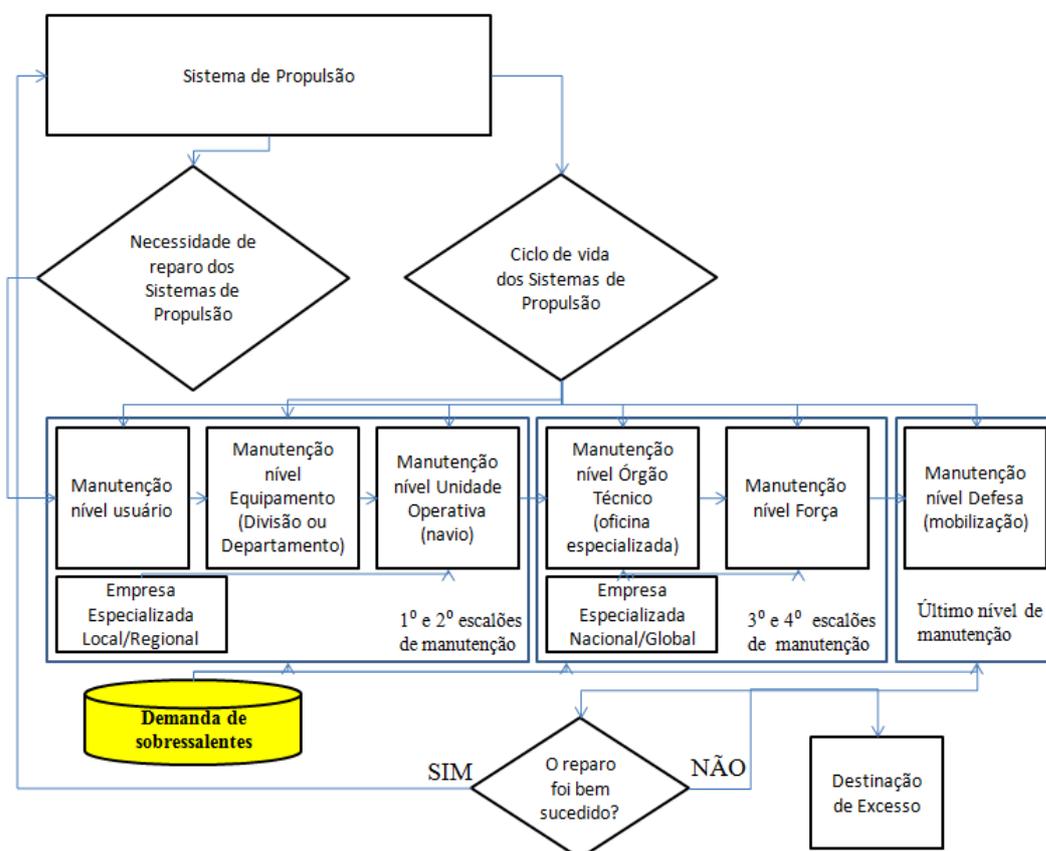


Figura 3: Níveis de manutenção dos sistemas de propulsão.
Fonte: Adaptação Fan et al. (2010).

Uma rede logística de sobressalentes ou uma cadeia de suprimentos de sobressalentes estruturada sobre a estrutura multi-escalão (SHERBROOKE, 2004; WU *et al.*, 2011) possui um fabricante no topo da cadeia ramificando-se em diversas estações hierarquicamente dispostas. Ao longo da estrutura, algumas estações possuem recursos humanos e materiais utilizados no reparo de equipamentos. Outras estações são criadas para armazenar sobressalentes.

Ainda dentro da estrutura da cadeia, são utilizadas estruturas entre um equipamento e suas partes componentes para delinear o vínculo existente entre cada item. Na Figura 4, Heijden *et al.* (2013) utilizam um modelo Multi-Identificação de equipamentos e seus sobressalentes, vinculando com grau de parentesco entre itens utilizados nos radares de navios de guerra. Por exemplo, o *Supply Cabinet* é

pai do *power supply*, enquanto o *water filter* e *heating element* são filhos do *Air cond. assembly*. Wu *et al.* (2011) conceituam também o relacionamento hierárquico existente entre o equipamento e suas peças componentes como *Bill of Material* (BoM), conforme Figura 5.

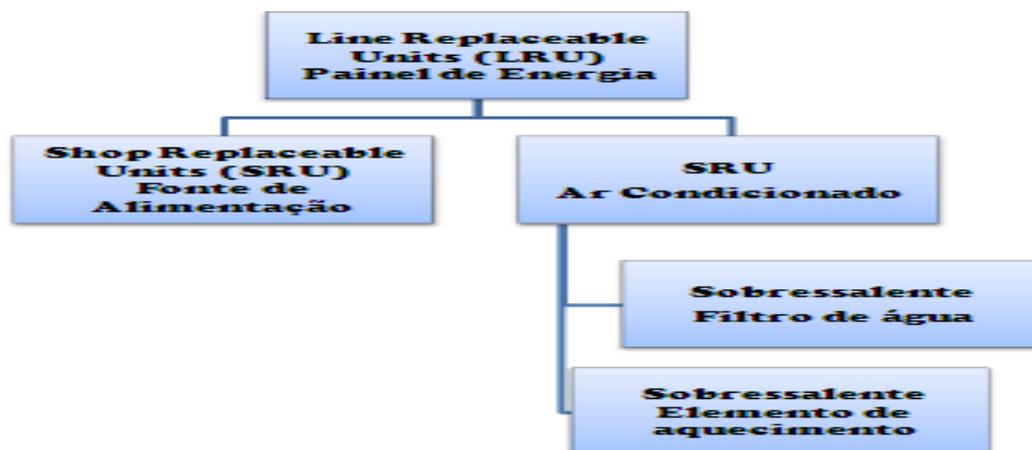


Figura 4: Estrutura Multi-Identação.
Fonte: Adaptação Heijden et al. (2013).

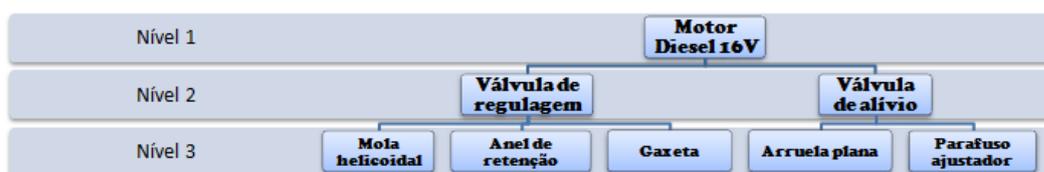


Figura 5: Estrutura hierárquica BOM de um motor a diesel.
Fonte: Autor.

Moon *et al.* (2012) utilizam a estrutura agrupada de sobressalentes em oito equipamentos essenciais para a operação de três diferentes classes de navios de guerra sul coreanos, a saber: Armamento I/II e III; Motores principais I e II; Geradores; Compressor da Ar; e Radar. Ainda sim, dentro de cada um dos oito equipamentos, foram elencados 36 subgrupos de acordo com o NATO *Supply Classification Group* (NSCG) explicitado no NATO *Codification System* (NCS). Ressalta-se por oportuno que o Brasil também é signatário do NCS, utilizando também mesma classificação, conforme Figura 6.

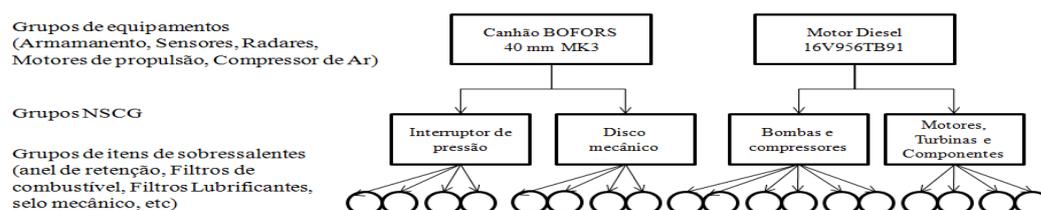


Figura 6: Estrutura em grupo.
Fonte: Adaptação Moon et al. (2012).

As cadeias de abastecimento de *spare parts* geralmente possuem uma estrutura Multi-Escalão ou *Multi-Echelon* (GUIDE e SRIVASTAVA *apud* TYSSELAND, 2009). A combinação entre *Multi-Identure* e *Multi-Echelon* em uma CS também é conhecida como cadeia de suprimento de sobressalentes MIME (GUIDE e SRIVASTAVA *apud* WU *et al.*, 2011).

A Figura 7 ilustra um estudo de caso conduzido pela empresa Thales Netherlands, onde considerasse como equipamentos os radares náuticos instalados a bordo de fragatas. Nesta CSS, as peças de reposição podem ser supridas pelo próprio estoque de cada navio, por organizações de apoio logístico em terra ou pela própria Thales Netherlands. Os itens de sobressalentes serão sempre movimentados do fornecedor original até o navio (HEIJDEN *et al.*, 2013).



Figura 7: Estrutura Multi-Escalão.
Fonte: Adaptação Sherbrooke (2004).

Ao abordar a CSS nucleares, Scala *et al.* (2014) enfatizam o estabelecimento de *tradeoff* entre o excesso de inventário e os malefícios causados pela ausência em estoque de sobressalentes críticos que interromperá uma produção ou perda da venda, prejudicando toda a cadeia. Os altos custos da falha associados do item de sobressalente, bem como a falta de previsibilidade quando e em quais quantidades as solicitações ocorrerão, concorrem para o alto valor imobilizado em estoque (WANKE, 2011).

No caso da CSS da Marinha do Brasil, pode-se traçar o seguinte paralelo: a falta em estoque de sobressalente crítico poderá causar a interrupção de uma

operação naval em águas jurisdicionais brasileiras ou em territórios internacionais, incorrendo em custos incomensuráveis para a imagem da prontidão de Defesa do Brasil (WANKE, 2012).

Na Marinha do Brasil, conforme pesquisa no Anuário Estatístico da Marinha, em 2011, foram despendidos R\$ 27.666.201,00 em obtenção de sobressalentes para atender reposições de estoques e manutenções programadas meios da MB, sendo R\$ 23.723.465,01 obtidos no exterior e R\$ 3.942.744,99 obtidos no país.

No âmbito militar-naval, cita-se os seguintes aspectos que tornam o SCM de sobressalentes uma tarefa complexa:

- Alto custo do capital imobilizado ao longo de toda cadeia. (GEBAUER *et al.*, 2011; KARSTEN e BASTEN, 2014; REGO e MESQUITA, 2011; ROMEIJNDERS *et al.*, 2012).
- Demanda altamente errática e intermitente (MOON *et al.*, 2012).
- Maiores exigências no nível de serviço praticado (REGO e MESQUITA, 2011; WANKE, 2012).
- Desatualização do banco de dados de itens de sobressalente (KENNEDY *et al.*, 2002).
- Idade e ciclo de vida dos equipamentos (FAN *et al.*, 2010; REGO e MESQUITA, 2011).
- Relevante custo de falta (GOMES e WANKE, 2008; WANKE, 2012).
- Risco e custo de obsolescência devido às características dos sistemas militares em constante transformação (FAN *et al.*, 2010).
- O aumento da complexidade dos produtos e o curto ciclo de vida geram grandes quantidades de *part number* (REGO *apud* WANKE, 2012; REGO e MESQUITA, 2011).
- Complexidade da estrutura Multi-Escalão da CS (GUIDE *et al. apud* TYSSSELAND, 2009).
- 80% das fontes de obtenção para itens militares situadas no exterior.
- Restrições impostas por Leis e regulações (FAN *et al.*, 2010).
- Ausência do compartilhamento de informações dos controles de estoques (ALI *et al.*, 2012; KENNEDY *et al.*, 2002; LI e KUO, 2008).

- Deficiente integração entre as Funções Logísticas Manutenção e Suprimento (MOLENAERS *et al.*, 2012).
- Elevado tempo de atendimento (GEBAUER *et al.*, 2011).
- Ausência de transparência e visibilidade da CS.

Tais entraves resultam como principais consequências o alto número de respostas de falta de estoque aos pedidos dos clientes, bem como elevado tempo de atendimento para correção destas faltas.

2.3. Gestão de armazenagem

Anterior à evolução da logística impulsionada pela reestruturação dos mercados globais, a atividade de armazenagem possui apenas o escopo de manter ou armazenar estoques. Neste viés, surge a indagação: por que possuir um armazém dado que demandará um prévio investimento de numerário, instalação de uma arquitetura de Sistemas de Informação (SI) e a alocação de mão de obra? (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

Para responder tal questionamento, deve-se considerar a atividade de armazenagem contemporânea como um processo de negócio do SCM. A armazenagem deve compartilhar os benefícios para toda a CS, gerando valor ao cliente final. Bowersox *et al.* (2007) afirmam que o armazenamento sortido de estoques mínimos para atender às expectativas do cliente é o escopo principal da armazenagem.

Conforme pesquisa sobre Serviço e Custo Logísticos, as atividades de armazenagem corresponderam a 24% dos custos logísticos totais (ESTABLISH UNITED LOG, 2013). As estatísticas apresentadas foram extraídas de empresas que operam em todos os tipos de nichos. Ou seja, para a efetividade do SCM não deve haver negligência em relação aos custos incorridos nesta atividade, caso contrário, há riscos de tais despesas anularem os ganhos em outras atividades.

Barthlodi e Hackman (2011) elencam razões para ter um armazém, tais quais: efetuar maior integração entre a oferta e a demanda, uma vez que os estoques mínimos constituem-se prevenção contra interrupção do fluxo logístico; e a consolidação dos estoques para reduzir custos de transporte e prover nível de serviço ao cliente (BALLOU, 2006; BOWERSOX *et al.*, 2007).

Fruto da alteração do paradigma estacionário para o aspecto dinâmico da armazenagem, o termo centro de distribuição (CD) tem sido amplamente utilizado por acadêmicos, pesquisadores e profissionais. O CSCMP (2013) define como Centro de Distribuição os armazéns instalados ao longo da cadeia de suprimentos para a estocagem desde a fabricação à montante até a entrega ao cliente final.

Quando realizado eficientemente e eficazmente, o gerenciamento do processo de armazenagem posiciona os membros da cadeia em melhor *locus* de integração, ao se tratar de processos de negócio internos de cada membro, e até mesmo na ligação entre os processos interorganizacionais, visando a redução de custos e a otimização do atendimento ao cliente.

Portanto, a gestão de armazenagem abarca os processos de recebimento do produto num CD, sua movimentação e estocagem até a separação e expedição do pedido para um cliente, compreendendo também o fluxo de informações correlatas.

Quanto ao tipo de CD, Bartholdi e Hackman (2011) classificam os CD em, a saber: CD de varejistas, CD de peças de reposição, CD para *e-commerce* ou catálogo de pedidos, armazém *third party logistics* -3PL e armazém para gêneros perecíveis.

Foco do estudo em tela é o CD de peças de reposição. Possui o escopo mais desafiador de todos os tipos de CD, por armazenarem peças com alto custo de valor de inventário, normalmente com alto grau de criticidade e em grandes quantidades. Cita-se como exemplo a armazenagem de peças para navios, aviões, automóveis, etc. Em face da incerteza da demanda por itens de sobressalentes, o valor de inventário em estoque de segurança mantido nos CD é consideravelmente alto.

Normalmente, este CD processa dois tipos de pedidos: pedidos de reposição de estoques para reabastecer as gôndolas dos consumidores; e pedidos urgentes, por meio do qual um *repair shop* solicita sobressalentes para reparar seu equipamento, em virtude de avaria inopinada.

Os pedidos de reposição tendem a ser em grandes quantidades e determinados por métodos de previsão de demanda ao se tratar de itens de consumo corriqueiros. Tais pedidos de reposição podem ser solicitados antes da efetiva necessidade de reparo, causando assim considerável quantidade de itens em logística reversa nos CD. Ao passo que os pedidos urgentes são em menor quantidade e

imprevisíveis. Característica importante dos pedidos urgentes é o tempo de fornecimento do item para a condução do reparo que poderá resultar em prejuízos incalculáveis. (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

Khajavi, Partanen e Holmström (2013) propõem um estudo sobre as vantagens percebidas (redução dos custos de mão de obra, estoques, transportes e equipamento aeronaval paralisado) para uma configuração descentralizada da CSS do caça *F-18 Super Hornet* pertencente à Marinha Americana. Os supracitados autores relacionam a centralização e a descentralização em relação às instalações de CD à jusante da CS (HILL *apud* KHAJAVI, PARTANEN e HOLMSTRÖM, 2013), ilustrando os ganhos em flexibilidade e capacidade de resposta da CS oriundos de uma estratégia descentralizada.

2.3.1. Operações de Armazenagem

As operações de armazenagem possuem importância crítica na geração de valor ao longo da CS. O desempenho de toda a cadeia depende da sinergia gerada entre as atividades funcionais pertencentes ao gerenciamento da cadeia de abastecimento, em especial das operações de armazenagem que conectam estrategicamente clientes a fornecedores, processando não apenas o fluxo de material entre os membros da cadeia, como prevê Gu *et al. apud* Lim *et al.* (2013), mas também agregando valor ao fluxo de informação da CS.

É por meio de tais operações que o produto sofrerá transformações para se adequar aos requisitos especificados pelo cliente. Por exemplo, normalmente um CD recebe a carga consolidada para então fracioná-la e entregá-la ao cliente. Nota-se que os requisitos estabelecidos pelo cliente devem ser considerados pelo CD, caso contrário não existirá percepção pelo cliente do valor agregado. Tal lógica faz com que quanto mais o CD estiver à jusante da CS, mais intensivo em mão de obra serão suas atividades. (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

Os processos que transformam o produto à medida que o fluxo físico desce a CS da camada mais superior para a camada mais inferior podem ser representados na Figura 8:

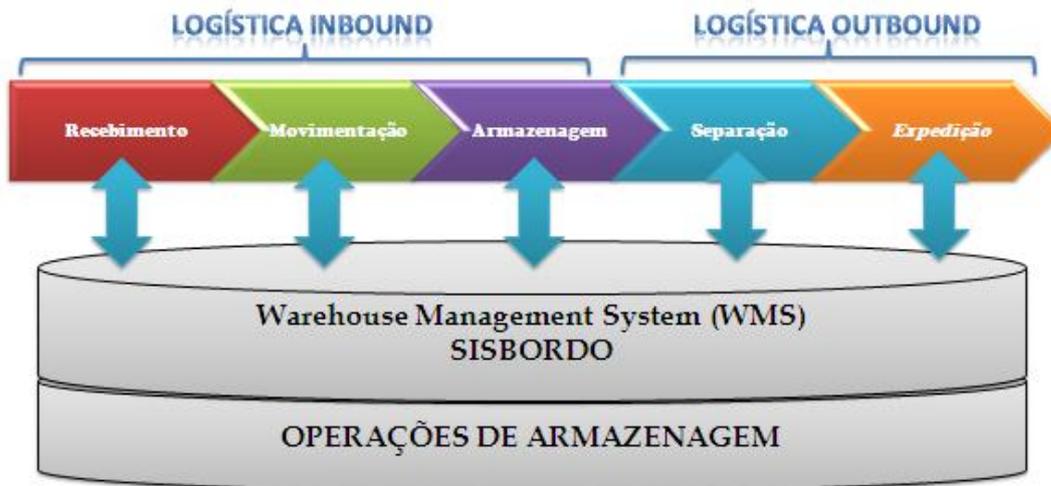


Figura 8: Operações de Armazenagem.
Fonte: Autor.

Bartholdi e Hackman (2011) classificam os processos das operações de armazenagem em processos *inbound*, caso o processo conecte o produto ao CD em movimento de entrada e processos *outbound*, caso o processo vise à saída de produtos do CD.

Processos *inbound*:

- Recebimento.
- Movimentação e armazenagem.

Processos *outbound*:

- Separação de pedidos.
- Expedição.

Holmström e Rolmme (2012) criam um modelo para aplicar a geração de valor no gerenciamento de operações por meio de novas tecnologias utilizadas nos processos, tendo a inovação como vetor principal. Para a utilização da inovação nas atividades de armazenagem, Bartholdi e Hackman (2011) formulam sistematicamente, como determinar os equipamentos utilizados e a organização do fluxo de produtos, independente do tipo de CD:

- Características de inventário, tais como o número de produtos, dimensões e valor imobilizado.
- Requisitos de rendimento e nível de serviço, incluindo o montante de estações de trabalho e expedições diárias.
- O espaço físico do armazém e os custos dos equipamento usados.
- O custo da mão-de-obra.

Ademais, a conexão estratégica entre o processo de negócio ao longo das operações de armazenagem pode criar diferencial competitivo ao mitigar as distorções causadas pela diferença entre a expectativa do cliente, o valor percebido pelo cliente, o valor entregue e o valor comunicado (PARASURAMAN *et al. apud* ERIKSSON *et al.*, 2013). Para preencher tais distorções, Eriksson *et al.* (2013) propõem um modelo de integração da demanda entre atacadistas e varejistas da CS pesquisada pelos autores supracitados.

2.3.1.1 Recebimento

Conforme supracitado, os produtos chegam ao CD em quantidades maiores do que aquelas que serão expedidas. Nesta etapa, a primeira atividade de movimentação de material será a descarga de veículos (BOWERSOX e CLOSS, 2009). Normalmente, tal processo é previamente agendado para que o CD possa se organizar e coordenar de forma eficiente à movimentação de material dentro do CD. Bartholdi e Hackman (2011) afirmam que uma janela de tempo considerável entre veículos de entrega é de 30 minutos.

Após a chegada do produto e sua descarga, ocorre o registro de sua entrada para fins contábeis e de visibilidade do estoque. Posteriormente, ocorre a inspeção dos produtos visando verificar incorreções nas quantidades recebidas, erros de descrições e produtos entregues danificados.

O processo ilustrado corresponde aproximadamente 10% dos custos operacionais de um CD. Pesquisas apontam a utilização da identificação automática de coleta de dados por meio da tecnologia RFID como fator de redução de tais custos (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

2.3.1.2 Movimentação

Conforme Bowersox e Closs (2009), qualquer movimentação interna de material em um CD pode ser denominada também como manuseio interno. Os deslocamentos internos de produtos são consequências do processo de recebimento e podem ser transferidos para: a área de armazenagem, a área de separação de pedidos e por fim, a área de expedição.

Atualmente, os CD utilizam diversos recursos com distintos níveis de complexidade para o manuseio de materiais, como por exemplo um carrinho manual de carga até mesmo sistema totalmente automatizados de empilhamento e localização de mercadorias estocadas.

2.3.1.3 Armazenagem

O processo de armazenagem é imperativo para a alocação dos produtos em local antes da continuação do fluxo de produtos pela CS. O local onde será acondicionado o produto faz parte da estratégia da CS, uma vez que influenciará o tempo de atendimento de um pedido, bem como o custo de distribuição física despendido.

A definição de acondicionamento em um armazém trará à tona a determinação da localização de estoque dentro do armazém. A localização de estoque é definida como a solução ótima para desenhar o arranjo físico dos produtos dentro de um CD, possuindo às seguintes restrições: custos, capacidade máxima do CD, furtos e danos fortuitos aos produtos e a integração do próximo processo, qual seja, separação de pedidos. A localização definirá o exato posicionamento do item dentro de um CD.

Ao integrar o material ao armazém em comento, a localização do estoque deve ser verificada para gravar onde o produto foi colocado. Faz-se mister conhecer quais são as localizações disponíveis dentro do armazém, o dimensionamento de cada localização e qual é a capacidade máxima de armazenagem por localização.

Não raramente, a determinação do leiaute de localização segue métodos intuitivos que se baseiam em quatro critérios: complementaridade, compatibilidade, popularidade e tamanho. É mais fácil utilizar os métodos intuitivos, no entanto eles não garantem a solução ótima do problema de localização de estoque.

Existem dois diferentes métodos de identificação-localização de estoques, a saber: método de identificação-localização fixo e o método de identificação-localização aleatório. Este utiliza os espaços vazios para o armazenamento dos itens, dependendo de um eficiente SI em face das descontinuidades de localizações para SKU diferentes e o deslocamento por diferentes localizações por ocasião da separação. Enquanto aquele estabelece uma posição fixa por SKU, não oti-

mizando a utilização das localizações úteis e não ocupadas e muitas vezes não utilizando uma posição formal (quando houver poucos itens SKU).

Métodos mais sofisticados de localização de estoques migraram dos leiautes das fábricas e estão em utilização em CD, tal como o modelo computadorizado de alocação de instalações conhecido como CRAFT. Ainda mais recente, o MULTIPLE amplia o CRAFT resolvendo em múltiplos pavimentos e alcançando melhores resultado com o uso de *Business Intelligence* e a tecnologia da curva do preenchimento do espaço (BALLOU, 2006).

O processo de armazenagem poderá consumir tempo considerável na condução de suas atividades, por envolver a movimentação do material até o local de armazenagem. Conforme Bartholdi e Hackman (2011), o processo de armazenagem corresponde a 15% dos custos operacionais do CD.

2.3.1.4 Separação de pedidos

O processo de separação de pedidos também conhecido como *picking* é fundamental para as operações de armazenagem. Ballou (2006) e Bowersox e Closs (2009) afirmam que a utilização intensa em mão de obra neste processo o faz ser um alvo perseguido na busca de produtividade de um CD ou armazém. No *picking* ocorrerá a consolidação de diferentes produtos de acordo com o pedido do cliente.

O início se dá com o processamento do pedido do cliente, com vistas a identificar a disponibilidade de estoque do item solicitado, e posteriormente, sua localização em estoque, tal confronto é feito por um WMS - *Warehouse Management System*. No mínimo, o pedido compreende o item e a quantidade solicitados. Ato contínuo, o CD confeccionará listas de separação a fim de orientar o processo de *picking*.

Cabe então a utilização de métodos eficientes de separação, por exemplo as listas de sequenciamento dos produtos que contêm as rotas mais eficientes de coleta nos CD, evitando o deslocamento inútil. Normalmente, utiliza-se um WMS para sequenciar os itens em listas eficientes de coleta. Tais listas podem apresentar forma física de papel (mais simples) ou serem processadas por Sistemas Orientados pela Informação: transmissão de voz (*pick by voice*), transmissão de luz (*pick-to-light*) ou radio frequência (*Wi-Fi*) (BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2007).

Há também o conceito de desdobramento de pedidos que é utilizado quando o estoque de um SKU está espalhado em diversas localizações e armazéns distintos, tornando obrigatório o desdobramento dos pedidos para tais SKU antes do início da coleta.

O CD também prepara a documentação pertinente para a expedição do material para o cliente. Bartholdi e Hockman (2011) delineam o *picking* em subprocessos apoiados pelo WMS em termos de tempo consumido por cada subprocesso, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Tempo consumido por atividade de picking.

Atividade	% tempo de separação dos pedidos
Deslocamento	55%
Pesquisa	15%
Retirada	10%
Manuseio com papel e outras atividades	20%

Fonte: Adaptação Bartholdi e Hockman (2011).

A separação de pedidos corresponde aproximadamente 55% dos custos operacionais do CD (BARTHOLDI e HOCKMAN, 2011). O supracitado percentual é bastante significativo e ratifica o porquê das pesquisas em prol do aumento de produtividade deste nicho.

A título de exemplo, o Depósito de Fardamento da FAB utiliza a tecnologia RFID associada à infraestrutura totalmente automatizada para movimentação de material de itens de fardamento comercializados no varejo da Força, conforme Figura 9.



Figura 9: Depósito Central da FAB: caixas contendo fardas e túneis para leitura de RFID. Fonte: RFID Journal Brasil (2012b).

2.3.1.5 Expedição

A expedição possui basicamente duas grandes atividades associadas, a verificação dos volumes e o carregamento de material. Assim como o recebimento, a expedição é intensiva em mão de obra por envolver o deslocamento manual do material entre a área de expedição e o embarque.

2.3.1.6 Inventário

Embora o inventário esteja dentro deste tópico, o processo de inventário não somente se relaciona com a gestão de armazenagem, mas também com a gestão de estoques, sendo uma conexão entre tais funções.

O inventário pode ser definido como a verificação de um grupo de itens de material existentes em um CD, sob o ponto de vista físico e contábil.

Em face da grande diversidade de itens estocados nos CD de sobressalentes, o controle de estoque deverá conter incorreções decorrentes de divergência entre as quantidades existentes e quantidade contábil dos produtos. Tal inconsistência pode impactar negativamente os níveis de serviço entregues ao cliente final. A condução de inventário é considerada como uma das ferramentas para se eliminar parcialmente ou totalmente as divergências supracitadas.

A precisão do inventário pode ser representada pelo percentual de itens que não apresentaram divergências por ocasião da realização de um inventário, em relação à quantidade total inventariada.

Registra-se por oportuno que a verificação da diferença entre o estoque físico e o contábil em virtude do *picking* para atender um pedido também poderá ser considerada como uma inconsistência. Conforme pesquisa sobre Serviço e Custo Logísticos, as atividades de inventário correspondem a 25% dos custos logísticos totais (ESTABLISH UNITED LOG, 2013).

A manutenção da acurácia do inventário em níveis elevados resultará nas seguintes vantagens para toda a CS: aumento do nível de serviço ao cliente (coincidência entre estoque físico e contábil); melhoria da determinação de necessidades de ressurgimento; incremento na disponibilidade de itens; auxílio na análise de excessos e faltas em estoque; e controle de obsolescência.

2.4. Gestão de estoques

Atualmente, a gestão de estoques na CS tem alcançado patamares importantes para o estudo da logística e do SCM. Lambert e Cooper (2000) indica que a gestão de estoques alocada dentro da gestão de demanda é processo chave para um SCM eficaz.

Em um ambiente cada vez mais complexo, a gestão de estoques exigirá dos profissionais envolvidos a exatidão de projeções de demanda que poderão impactar de forma positiva os níveis de serviços e os custos totais de toda a cadeia (GOMES e WANKE, 2008; WANKE, 2011).

Nada obstante, conforme observado nos modelos de SCM elencados neste trabalho, o controle de estoques é componente fundamental em busca da correta determinação de necessidades nos diversas camadas da CS. Por exemplo, sem uma acurácia confiável de estoques não poderá ser realizado um processo de *picking* confiável, resultando na falta de entrega de valor ao cliente final (baixos níveis de serviço ao longo de toda a cadeia).

Em virtude da complexidade da própria estrutura da CS e dos diferentes atributos requisitados por toda a cadeia como: giro de estoque, volume e peso do produto, custo adicionado e nível de serviço exigido (disponibilidade em estoque *versus* tempo de fornecimento), a gestão de estoques possui forte relacionamento com as demais macroáreas do SCM.

A seguir, serão abordados os tópicos que envolvem a gestão de estoques na CSS.

2.4.1. Políticas e modelos de gestão de estoques na CS

Define-se política de estoques como o fundamento normativo para a execução em termos quantitativos e qualitativos das compras ou produção, sem deixar de considerar aspectos temporais (quando pedir?). O gerenciamento estratégico dos estoques também faz parte da própria política (centralizar ou descentralizar) (WANKE, 2012). O maior problema na gestão de estoques é a decisão sobre qual política adotar (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

Wanke (2011) define as políticas de estoques em função de dois fatores-chave, a saber: formato e estágio. O formato diz respeito à maneira como os esto-

ques aparecem na (matéria-prima, produtos acabados, etc) CS que devem ser caracterizados por atributos distintos (volume, peso, giro, etc). O estágio da CS se relaciona com o local de armazenagem dos estoques e também possui atributos ou características da operação, tais quais: visibilidade da demanda e tempo de resposta. Cada par formato-estágio irá gerar distintas políticas de gestão de estoques, impactando a escolha do modelo de gestão de estoques que conduzirão os principais aspectos em gestão de estoques.

Ao analisar o estágio da CS, será definida a política a ser utilizada. Em operações dentro da CS permeadas por tempo de resposta longo e pela clara visibilidade da demanda, provavelmente será utilizada a política de planejamento da demanda ou métodos de planejamento. Caso não haja visibilidade da demanda, certamente será utilizado o planejamento da demanda. Em operações suscitadas por tempo de resposta curto e pela visibilidade da demanda será utilizada a política de reagir ou métodos reativos. Caso não haja a visibilidade da demanda, provavelmente será utilizada a política de reação (BOWERSOX e CLOSS, 2009; WANKE, 2011).

Os métodos de planejamento ou o planejamento da demanda confrontam a previsão de demanda e a disponibilidade de estoques, bem como determinam o deslocamento e o destino dos produtos ao longo da CS. Ao passo que os métodos reativos ou a política de reagir utilizará a demanda do solicitante para deslocar estoques ao longo da CS em direção ao cliente.

Com relação ao conceito de modelos de gestão de estoque, Wanke (2011) define:

“Um modelo de estoques abrange um escopo de decisões com o intuito de coordenar, nas dimensões tempo e espaço, a demanda existente com a oferta de materiais, de modo que sejam atingidos os objetivos de custo e de nível de serviço especificados, observando-se as características do produto, da operação e da demanda.”

Existem duas características principais sobre as decisões de um modelo de estoques, a saber: decisão de reposição e decisão de alocação. Estas se relacionam com o posicionamento dos estoques ao longo da CS. Aquelas estão ligadas aos questionamentos "quanto pedir?" e "quando pedir?". Ressalta-se que em quaisquer decisões de modelo, a função estratégica do estoque de segurança que deverá atender aos requisitos estabelecidos de nível de serviço ou *fill rate* orientado ao

cliente final (reposição de estoques) e resolver a questão da centralização ou descentralização ao longo da CS (alocação de estoques).

2.4.2.

Principais conceitos utilizados em gestão de estoques

A seguir, serão definidos principais termos utilizados em gestão de estoques que servem como base para o completo entendimento sobre a função em comento.

2.4.2.1

Tipos de Estoque: fabricante, atacado e varejo

A acumulação de estoques invariavelmente incorrerá em dois aspectos ao longo da cadeia, a saber: riscos atrelados ao investimento em estoques e a possibilidade de ocorrência de obsolescência dos estoques (BOWERSOX e CLOSS, 2009). O tamanho de cada aspecto irá variar em função do posicionamento dos estoques ao longo da cadeia (fabricante, atacadista e varejista).

No fabricante, a manutenção de estoques possui maior duração, pois é nesta camada que matéria-prima será transformada em produto acabado e distribuída ao longo da CS. Logo, o fabricante possui maior investimento imobilizado em estoques (matéria-prima, produtos em processo e produtos acabados) e em maior prazo de duração.

Os estoques dispostos no atacado possuem risco de maior profundidade se comparado com o varejista, porém a profundidade diminuirá se comparado com o fabricante. Bowersox e Closs (2009) afirmam que a justificativa da existência do atacadista é a disponibilização de variados produtos advinda de diversas fontes de obtenção ao cliente. Em resumo, os atacadistas compram dos fabricantes grandes quantidades e entregam aos varejistas em menores quantidades. Os supracitados autores ainda argumentam sobre a generalização nociva de linhas de produtos dos atacadistas fazendo os mesmos perderem especialização e incorrerem em maiores riscos inerentes aos estoques.

A manutenção de estoques no varejo resultará em risco mais amplo, porém o risco não terá a profundidade do atacadista. Isso porque o varejista obterá itens diversificados em estoques orientados a venda. Bowersox e Closs (2009) afirmam que os varejistas mantêm aproximadamente de 10.000 SKU a 50.000 SKU em

estoques. Com ênfase no risco assumido pela amplitude de seus estoques, os varejistas impõem cada vez mais responsabilidade às camadas superiores da CS, impulsionando seus estoques para trás, exigindo assim menor tempo de fornecimento e maior sortimento de produtos.

À guisa de exemplo, a Figura 10 ilustra dois tipos de redes de CS com quatro camadas:

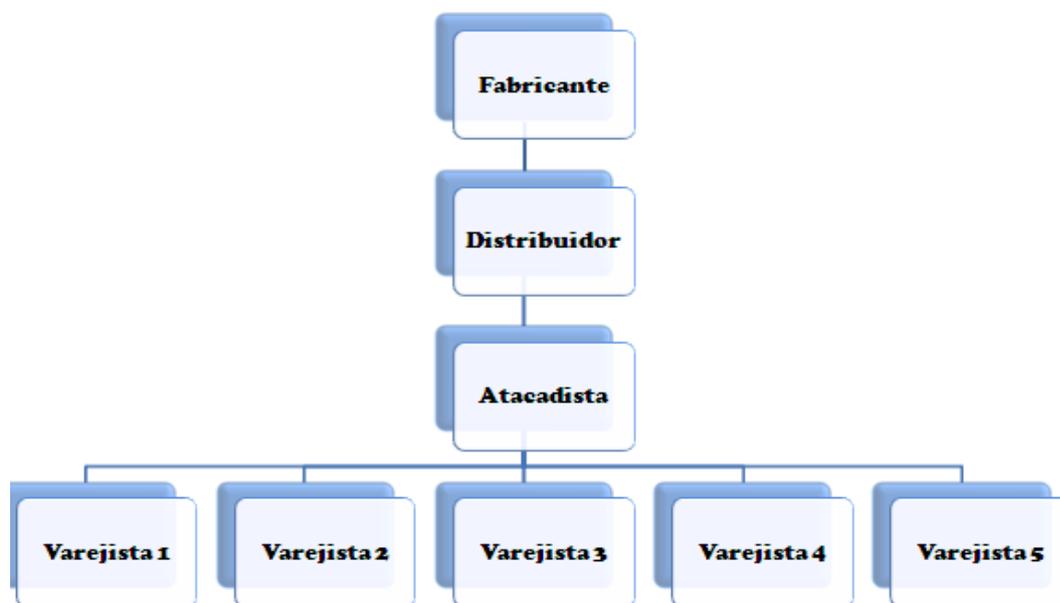


Figura 10: Rede de cadeia de suprimentos com 5 varejistas.

Fonte: Adaptação Wan e Evers (2011).

Ballou (2006) ao se referir a visão integrada dos três tipos de processos citados, defini o termo estoques de múltiplos estágios como a acumulação de estoques em mais de uma camada da CS. Ou seja, ao invés de considerar estoques em cada posição de forma segregada, haverá o planejamento do nível total em função da soma de cada estágio, reduzindo assim as quantidades no conjunto dos estoques.

Observa-se que o estoque de múltiplos estágios diluirá a amplitude e a profundidade do risco associado a sua própria manutenção, embora Bowersox e Closs (2009) afirmem que o nível do canal de distribuição dos varejistas será diretamente proporcional ao risco incorrido, até mesmo semelhante ao risco do próprio atacadista (profundidade e amplitude do risco).

2.4.2.2 Nível de Serviço ao Cliente

O nível de serviço é definido pela cúpula da organização. A gestão de estoques deve espelhar o objetivo primário do gerenciamento de estoque, qual seja: a disponibilidade do produto (elaboração do pedido, acurácia do pedido e níveis de estoques) demandado no tempo e nas quantidades solicitadas (BALLOU, 2006). Eis dois exemplos listados na literatura sobre níveis de serviço: o tempo de ciclo de pedido (tempo de trânsito do pedido e tempo para composição do embarque) e a percentagem de quantidades atendidas (o percentual de quantidades pedidas prontamente expedidas a uma) (BOWERSOX e CLOSS, 2009; BALLOU, 2006).

Insta consignar que o nível de serviço pode ser orientado pelos três principais vetores do serviço logístico, em nível de mensuração: disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade. A disponibilidade diz respeito ao estoque mantido para atender as demandas do cliente. O desempenho operacional é atrelado ao tempo de atendimento do pedido (velocidade, consistência e flexibilidade). E por último, a confiabilidade diz respeito aos aspectos de qualidade percebida por toda a CS (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

2.4.2.3 Estoque Médio

É definido como o somatório das quantidades de matéria-prima, produtos em processo e produtos acabados mantidas em estoques e definidas previamente pela política de estoques em função de três componentes delineados nos itens a seguir.

2.4.2.4 Estoque Básico

Parte do estoque médio (EM) que é consumido em virtude da baixa de estoques para atender aos clientes e se restitui por meio de ressuprimento. Ou seja, após o ressuprimento, o EM existente é chamado de estoque básico (EB) (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

2.4.2.5 Estoque de Segurança

Parte do estoque médio preparado para contrapor as variações e incertezas de curto prazo não só relacionadas à demanda (quantidade maior que a esperada), mas também ao ressuprimento (diminuição da frequência). Segundo Bowersox e Closs (2009), a composição do estoque de segurança (ES) é a maior captação de energia dos gerentes de estoques. Clarividente que o ES estará ligado também a função compras, pois conforme afirmado o ES é concebido para afiançar a segurança da disponibilidade de estoques em face da incerteza sobre o ressuprimento.

Em virtude da existência do estoque de segurança, o estoque médio será igual à metade do pedido de ressuprimento adicionando o estoque de segurança (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

2.4.2.6 Estoque em trânsito

O estoque em trânsito (ET) é o estoque que se encontra em deslocamento ou já está embarcado para o mesmo fim. Ressalta-se que ao estabelecer a importância do próprio ressuprimento, o ET se tornará essencial para a operação de toda a CS, embora traga maior grau de complexidade em virtude de dos aspectos: o pagamento prévio do ET sem a disponibilização instantânea; e limitação das informações acerca da chegada dos produtos embarcados (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

2.4.3. Controle de estoques

Controlar estoques é uma ação desenvolvida em prol do cumprimento de uma política de estoques e envolverá a confrontação habitual entre os níveis de estoques posicionados em determinado local, bem como suas variações ao longo do tempo.

Existem diferentes lapsos temporais da rotina de comparação entre níveis de estoques e condições de ressuprimento. Tais frequências distintas levarão aos controles permanentes, controle periódicos e sistema de controle modificados (BOWERSOX e CLOSS, 2009).

2.4.4. Gestão de estoques de itens de sobressalentes

Na cadeia de suprimentos de sobressalentes, a gestão de estoques incorre em maior complexidade, sobretudo ao se tratar de reposição de sobressalentes com os óbices inerentes a tal CS, emergindo como um caso especial da gestão de estoques (HUISKONEN, 2001).

Wanke (2011) afirma que a gestão de estoques para peças de reposição possui determinadas peculiaridades que fazem a espécie *sui generis* na literatura acadêmica, elencando alguns aspectos que a condicionam, tais quais: altos custos de obtenção, elásticos tempos de resposta do ressurgimento, giros de estoque baixos e previsibilidade difícil (COHEN e LEE; COHEN, ZHENG e AGRAWAL; MUCKSTADT; KUMAR; REGO *apud* WANKE, 2012).

Embora tais óbices impulsionem a decisão sobre a escolha da política de estoque de itens de sobressalentes como pano de fundo, é notório o foco da comunidade científica e profissionais direcionado ao estudo de itens de reposição. (BOTTER e FORTUIN, 2000; DA SILVA, 2009; REGO e MESQUITA, 2011).

Existem consideráveis linhas de pesquisa sobre quais políticas de estoque devem ser adotadas para itens de sobressalentes (KENNEDY *et al.*, 2002; GOMES e WANKE, 2008; WANKE, 2011), sendo consenso que os itens de sobressalentes não podem ser gerenciados conforme modelos pré-concebidos (BOTTER e FORTUIN, 2000).

Gomes e Wanke (2008) apresentam uma heurística para determinação dos parâmetros da política de estoque (S, s) de gestão de estoques de sobressalentes cuja demanda é aderente à distribuição de Poisson, construindo um conjunto de tipo de custos: custos da falta, do excesso e do ressurgimento.

Yutan *apud* Zhou *et al.* (2010) afirmam que o modelo (S,s) não pode ser aplicado a equipamentos críticos navais. Os mesmos autores afirmam que a maioria dos estudos em gestão de estoques em itens de sobressalentes aplicados a navios está relacionada ao campo militar.

Ao estudarem a CS de sobressalentes da empresa BASF ANTWERP NV, cujo valor em estoque de sobressalentes representava 100 milhões de euros em 2008, Molenaers *et al.* (2012) propõem a classificação por nível de criticidade considerando as seguintes características logística: tempo de ressurgimento, número de potenciais fornecedores e disponibilidade de informações técnicas. Os

autores aplicam a análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* - AHP, de itens de sobressalentes para incrementar a eficiência da política de estoque de itens de sobressalentes.

2.4.4.1 Consumo de itens de sobressalentes

Os itens de sobressalentes podem ser divididos sob a perspectiva do consumo: itens de baixo consumo e itens de baixíssimo consumo. Estes apresentam consumo histórico anual inferior a uma unidade. Aqueles possuem um consumo histórico anual de 300 a 500 unidades. A priori, os itens de baixíssimo consumo não deveriam ser mantidos em estoque, sendo solicitados sob demanda real, enquanto os itens de baixo consumo deveriam possuir política de estoque com base nos níveis de ressuprimento (WANKE, 2011; 2012).

Para Wanke (2011), o nível de ressuprimento é definido considerando a probabilidade de não ocorrer falta durante o tempo de fornecimento. Ademais, a quantidade envolvida no ressuprimento deve refletir o nível de estoque esperado ao final do tempo de resposta e levar em conta os custos de oportunidade de manter estoque e os custos associados ao ressuprimento.

Wanke (2012) propõem um quadro conceitual para o modelo de gestão de estoques considerando a segmentação da demanda anual histórica em três abordagens: baixíssimo consumo, baixo consumo, consumo de massa (consumo anual histórico maior que 500 unidades); e o coeficiente de variação da demanda em duas variáveis: alta incerteza e baixa incerteza. A Figura 11 demonstra o quadro conceitual que apoiará a tomada de decisão em relação a quando e quanto pedir e quanto manter em segurança na CSS.

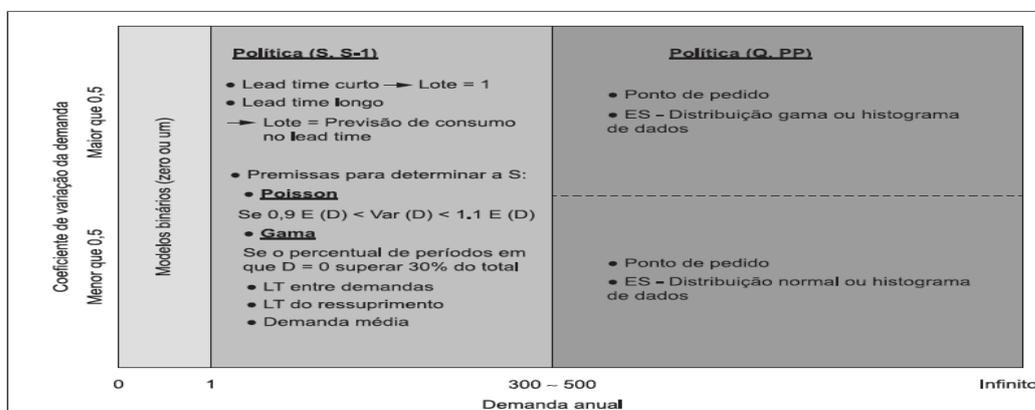


Figura 11: Política de estoques: quando e quanto pedir?

Fonte: Wanke (2012).

Por oportuno, registra-se que Bacchetti e Saccani (2012) propõem uma revisão da literatura sobre nove métodos de previsão de demanda de itens de sobressalentes, evidenciando a crescente busca por métodos mais eficientes de previsão de demanda e controle de estoques para a categoria de material em comento.

2.5. Tecnologia de Informação aplicada à logística

A evolução das tecnologias da informação marcou notadamente o avanço do próprio conceito de logística e SCM. A TI emergiu como uma ferramenta de diferenciação competitiva entre as organizações, que cada vez mais buscam a excelência dos bens oferecidos (BALLOU, 2006; BOWERSOX e CLOSS, 2009; OLIVEIRA e COHEN, 2010; RUSSEL, 2011). Destarte, inúmeras empresas investigam soluções para apoiar a gestão de suas atividades, com vistas a incrementar o controle, eficiência e integração da CS, capturando informações acuradas que proporcionem maior espectro de conhecimento como apoio à tomada de decisões e, por conseguinte, majorar o nível de serviço ao cliente.

2.5.1 TI como fator crítico de sucesso do SCM

Soni e Kodali (2013) indicam a TI (incluindo também sistemas de informação) como um pilar de modelo de SCM por excelência, conforme Figura 12. Para os autores, a TI por si só não é fator crítico de sucesso do SCM, contudo sua utilização estratégica deve ser relacionada no gerenciamento de redes logísticas, na integração de sistemas, na integração com fornecedores, na otimização de toda a CS, na redução do efeito chicote, nas estratégias de terceirização, nas parcerias e alianças estratégicas, na gestão de armazenagem e na gestão de estoques, aguçando direcionadores de sucesso da CS (EARL *apud* DINTER, 2013).



Figura 12: Elementos estratégicos do SCM
 Fonte: Adaptação Soni e Kodali (2013).

Os direcionadores considerados pela literatura como os mais representativos do uso da TI como fator crítico de sucesso dentro da CS são dez e elencados, a seguir: redução dos custos totais da cadeia de abastecimento; redução do tempo de ciclo de pedido e tempo de fornecimento; a melhoria da qualidade da informação; o aumento da capacidade operacional; intensificação de relacionamentos com pessoas e parceiros; acesso de informações em tempo real; melhoria na tomada de decisão; melhor qualidade na prestação de serviços; *market sharing* e expansão; e compartilhamento de riscos junto aos parceiros (NATH e STANDING, 2010).

A fim de operar a TI dentro de uma CS, Nath e Standing (2010) promovem um modelo conceitual para o uso da TI sob o paradigma de mudança e reengenharia dos processos de negócios que estão inseridos no SCM em três níveis de complexidade.

Ao analisarem os fatores críticos para o sucesso de integração do SCM, Näslund e Hulthen (2012) afirmam que a TI é peça fundamental para o alcance do SCM integrado. Para os autores, a integração somente será alcançada a partir de investimento em TI, sob a justificativa que haverá maior compartilhamento de informação entre limites organizacionais. Lambert e Cooper (2000) enfatizam a importância de identificar quais processos-chave de negócio devem ser integrados ao longo do SCM.

Ainda visando à integração do SCM, Fawcett e Magnan *apud* Näslund e Hulthen (2012) demonstram três vetores para o uso da TI visando integração: incrementar a qualidade e a velocidade das informações trocadas entre os membros da CS; alinhamento de processos interorganizacionais, por exemplo, metas, indicadores, riscos e recompensas; considerar o SCM associado à filosofia e à cultura organizacionais.

Embora a visibilidade nas cadeias de abastecimento ainda pareça limitada, é considerada como aspecto frequentemente atrelado à integração (NASLUND e HULTHEN, 2012). Sobretudo ao se tratar da visibilidade proporcionada pelo rastreamento e monitoramento ponta a ponta de produtos ao longo da CS (MUSA *et al.*, 2014). Segundo Näslund e Hulthen (2012), gestores da CS estão se preparando para o compartilhamento de informações vitais que garantem um adequado fluxo de materiais. No entanto, informações, cujo conteúdo possui maior sensibilidade, têm sido compartilhadas seletivamente. Os mesmos autores apontam como barreiras para o efetivo compartilhamento de informações: ausência de vontade de administradores em abrir informações para outras empresas; falta de padrões e emprego inapropriado de Sistemas de Informação (SI).

2.5.2. Sistemas de Informação (SI)

Gunasekaran *et al.* (2006) afirmam que a TI impactou de forma revolucionária o modo de se fazer negócio em diversas áreas, incluindo a área militar. Neste viés, a TI é entendida não só como os *Electronic Data Interchange* – EDI (Intercâmbio Eletrônico de Dados), AIDC; RFID, tecnologia wireless, internet; mas também como os SI, tais quais: e-commerce, *Enterprise Resource Planning* ou Sistema de Gestão Integrada - ERP, o WMS, *Transportation Management System* – TMS (Sistema de Gestão de Transporte); Global Position System – GPS (Sistema de Posicionamento Global) (NGAI *et al. apud* BARBOSA e MUSETTI, 2010).

Tal tendência influenciou a velocidade de expansão do SCM, trazendo maior complexidade do processo de tomada de decisão. O dinamismo deste novo ambiente de negócios deve ser considerado na adoção de quaisquer tipos de TI ou SI como oportunidade de melhorias em busca de novos processos internos mais eficientes e serviços prestados ao consumidor final de maior qualidade.

2.5.2.1.

Sistema de Gestão Integrada – ERP

O conceito de ERP emergiu da evolução dos sistemas *Material Resource Planning* ou Planejamento de Recursos de Manufatura - MRP. Em sua origem, na década de 70, o MRP era utilizado para verificação de informação referente ao cálculo da necessidade de materiais na produção. Na década de 80, com a integração entre as áreas de produção, estoques, compras e finanças surgiu o termo Planejamento Mestre o qual passou a apoiar a tomada de decisão gerencial com informações sobre outros recursos de produção. Logo, o MRP desenvolveu-se no MRP II.

Em virtude da complexidade do ambiente de negócio, conseqüentemente do SCM, os fornecedores de sistemas projetaram mais módulos, agregando funções gerenciais aos sistemas, tais como a gestão de vendas, controladoria, finanças e distribuição.

Este sistema mais robusto e contendo diversos módulos gerenciais acoplados é o Sistema de Gestão Integrada ou *Enterprise Resource Planning* - ERP e tem sido utilizado por inúmeras organizações como uma importante ferramenta de planejamento e controle de recursos empresariais. O ERP integra os nichos de negócios organizacionais, criando valor, mitigando custos e disponibilizando informações consistentes, às pessoas certas, dentro de um prazo preciso, a fim de proporcionar uma melhor tomada de decisão, aprofundando uma gestão lucrativa e proativa dentro da CS. A tabela 2 expõe definições de ERP correntes aplicadas ao SCM:

Tabela 2: Definições para sistema ERP.

Autores	Definições para ERP
Gartner (2011)	ERP é definido como a capacidade de entregar um conjunto de aplicações de negócios integrados. As ferramentas do ERP compartilham um modelo comum de processo e dados, cobrindo a amplitude e a profundidade de processos operacionais ponta a ponta tais como finanças, recursos humanos, distribuição, fabricação, serviço e cadeia de suprimentos.
Nour e Mouakket (2011)	Os ERP são sistemas corporativos integrados que provêm apoio automatizado para padronizar processos de negócio dentro da empresa.
Su e Yang (2010)	Um sistema ERP é um sistema computacional de integração organizacional projetado para automatizar o fluxo de material, informação e recursos financeiros entre áreas funcionais dentro de uma empresa sob uma base de dados comum.
Ge e VoB (2009)	Um sistema ERP é um Sistema de Informação Empresarial altamente integrado para gerenciar todos os aspectos operacionais do negócio de uma empresa, incluindo produção, compras, projetos de engenharia, fabricação, vendas, marketing, distribuição, contabilidade e serviço ao cliente.
Botta-Genoulaz e Millet (2005)	Um sistema ERP é um pacote de software integrado composto por um conjunto de módulos funcionais padronizados (produção, vendas, recursos humanos, finanças, etc) desenvolvido ou integrado por vendedores que podem personalizar de acordo com a necessidade de cada cliente. Um sistema ERP visa integrar todos os departamentos e funções de uma empresa dentro de um único sistema computacional que pode apoiar todos os departamentos.
Yusuf, Gunasekaran e Abthorpe (2004)	O sistema ERP é uma aplicativo que auxilia a integração de fluxo de informação através da empresa. Com base em seu auxílio, um sistema ERP organizacional será capaz de gerenciar negócios e integrar sistemas funcionais individuais, tais como fabricação, finanças, compras e distribuição.

Fonte: Adaptação Folinas e Daniel (2012).

Atualmente, os ERP estão sendo desenvolvidos para aperfeiçoar e integrar processos e fluxos de informação dentro de uma organização, a fim de promover sinergia e aumentar a efetividade organizacional (MCGAUGHEY e GUNASEKARAN, 2007). Conforme apontamentos de Tsai *et al.* (2011), muitas empresas aumentam seu rendimento e competitividade por meio da implementação do sistema ERP.

Fortulan (2006) registra os principais benefícios advindos dos sistemas ERP, tais quais: otimização do fluxo de informações, facilidade de acesso aos dados operacionais, maior consistência das informações, adoção de melhores práticas de negócios suportadas pelas funcionalidades dos sistemas, que resultam em ganhos de produtividade e maior velocidade de resposta à organização. Para Turban *et al.* (2004), essa disponibilidade de informação incrementa maiores produtividade e satisfação do cliente final.

Sob a perspectiva do SCM, os impactos oriundos da adoção de ERP podem ser segregados em benefícios, tais como (FOLINAS e DANIEL, 2012):

- Benefícios operacionais: redução do tempo de ciclo de atendimento, maior atendimento da demanda incrementando o nível de serviço, a qualidade e o controle funcional.
- Benefícios táticos: integração cruzada de dados e sistemas da organização possibilitando melhoria no nível de qualidade da informação que apoia a tomada de decisão.
- Benefícios estratégicos: aumento da integração entre fornecedores, clientes, parceiros e visibilidade de ponta a ponta da CS; e alcance de diferencial competitiva no atendimento das necessidades de clientes.
- Benefícios organizacionais: apoio às mudanças organizacionais; incremento de processos de execução operação; e visão holística do sucesso de cada parte inserida no todo organizacional.
- Benefícios de infra-estrutura da TI: TI utilizada pela organização para alcançar vantagem competitiva; investimento em TI contribuirá para aumentar a eficiência de toda a organização; e alinhamento do departamento de TI com as necessidades dos processos de negócio.

Nada obstante, os sistemas de SCM representam uma visão expandida, atualizada e, sobretudo, holística da administração de material tradicional, abran-

gendo a gestão de toda a cadeia produtiva de uma forma estratégica e integrada (FORTULAN, 2006). Acredita-se que os sistemas de SCM emergiram como complemento aos sistemas ERP. Ademais, a integração entre SCM e ERP acontece quando o ERP contempla Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) ou o atual *Business Intelligence*, como por exemplo o *Data Warehouse* (TURBAN *et al.*, 2004).

Este último é um conjunto de dados utilizado para apoiar o processo de tomada de decisão e o *Business Intelligence*, funcionando como repositório o qual possui todas as informações relevantes para a gestão de uma organização e do mesmo emergem informações e conhecimentos necessários para a gestão de uma organização (MARCH e HEVNER, 2005). Para McGaughey e Gunasekaran (2007), o *Data Warehouse* deve capilarizar informações necessárias, a fim de proporcionar um ágil apoio à decisão sob qualquer contexto.

Ainda segundo os autores, a demanda por módulos específicos retratam que todo o negócio dos usuários está sendo enxergados por meio do ERP, esperando-se alguns requisitos/capacidades: catalisar a integração da CS; transferência facilitada e consistente de informações entre seus diversos módulos; base de dados detentora de modelos e soluções, a fim de para apoiar a tomada de decisões nos níveis estratégicos, táticos e operacionais da organização; aplicação intensiva em pesquisas, interagindo interna e externamente com a base de dados; e grande flexibilidade e interoperabilidade entre módulos e sistemas.

2.5.2.2.

Sistema de Gerenciamento de Armazém – WMS

De acordo com Bartholdi e Hackman (2011), um Sistema de Gerenciamento de Armazém (WMS) é um complexo conjunto de *software* que apoia à gestão de estoques em locais de armazenagem, com vistas a afiançar a rapidez no processamento e atendimento dos pedidos de clientes.

WMS é definido como um sistema de gestão de armazéns, que otimiza as atividades operacionais e administrativas, bem como respectivos fluxos de materiais e informações dentro do processo de armazenagem, incluindo recebimento, inspeção, endereçamento, armazenagem, *picking*, embalagem, embarque, expedição, emissão de documentos para transporte, inventário, tais processos integrados atendem aos requisitos logísticos do cliente, maximizando os recursos e minimizando desperdícios de tempo e de pessoas (BANZATO, 1998).

Um WMS contém em seu banco de dados SKUs pertencentes à linha de fornecimento da organização e localizações de estoques armazenados, a fim de auxiliar a gestão de estoques de SKUs e o inventário de locais de armazenagem (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

De acordo com Barbosa e Musetti (2010), o objetivo de um WMS é gerenciar e otimizar atividades operacionais e gerenciais ao longo das operações de armazenagem e gestão de estoques dentro de um CD, garantindo qualidade de seus serviços logísticos adequados aos requisitos do cliente.

O WMS induzirá o fornecimento de informações com maior qualidade e de forma mais veloz. Tais aspectos proporcionarão a redução de estoques e, por conseguinte, um número de giros de estoque cada vez maior, otimizando o espaço físico total de armazenagem. Por isso, um WMS entregará benefícios traduzidos em redução de custos e melhoria do serviço ao cliente. Este é uma decorrência lógica da redução de erros nos atendimentos de pedidos, do enxugamento de todo o processamento de pedidos, operando com a melhoria no fluxo de informações e materiais. Aquele benefício é percebido por conta da otimização dos recursos operacionais, como por exemplo: máquinas e mão de obra (BARBOSA e MUSETTI, 2010).

Ao substituir a interação manual pelo EDI, o WMS reduz o tempo de ciclo de pedidos ao longo de toda CS, entregando melhor desempenho operacional (maior velocidade e consistência) ao cliente final (BARBOSA e MUSETTI, 2010; BOWERSOX e CLOSS, 2009).

Atualmente, o WMS tem incorporado outras funcionalidades, tais quais: a sugestão de alocação de locais disponíveis para novo produto recém-chegado à armazenagem; coordenação na montagem de pedidos de clientes para atender às programações de embarque; e monitoramento de rendimento dos empregados. Resta consignar que o WMS poderá fornecer resumos sintéticos e analíticos de um SCM, planejando e coordenando os níveis de estoques junto à gestão de transporte, do fornecedor ao cliente final (BARTHOLDI e HACKMAN, 2011).

Outro benefício associado ao WMS é a disponibilidade *on line* da real quantidade em estoque. Funcionando em tempo real, um WMS pode apoiar reduções nos lead times tanto para o processamento de pedidos quanto para o gerenciamento de inventário. Esses benefícios, por sua vez, podem proporcionar um me-

lhor nível de serviço ao cliente e um giro mais rápido do estoque, podendo, assim, ser traduzidos em economias financeiras às operações do CD.

Bartholdi e Hackman (2011) destringem as seguintes funcionalidades de um WMS em função do nível de utilização dentro da CS:

As funcionalidades básicas são: agendamento; recebimento; inspeção; armazenagem; localização; gerenciamento de pedidos; *picking*; embalagem e consolidação; e transporte.

As funcionalidades à jusante da CS são operação orientada por RFID: contagem de ciclo; ressuprimento de estoques; valor agregado a serviços logísticos; sincronização entre camadas da CS; gestão de configuração; gestão de variabilidade; gestão de mão de obra; processos em fluxograma.

As funcionalidades avançadas são: visão de múltiplos CDs; alerta sobre quebra de estoques; descontinuidade de processo; e capacidade de EDI.

2.6.

A tecnologia de identificação por Radio Frequência – RFID

A tecnologia RFID foi desenvolvida aproximadamente a mais de meio século. No entanto, só recentemente que a RFID tem chamado a atenção de profissionais e estudiosos. Tal avanço na utilização da tecnologia deve-se à redução de custo e ao aumento das capacidades operacionais do sistema, bem como à certeza do funcionamento da tecnologia (RFID JOURNAL, 2014b; SHENG *et al.* 2011; ZHU *et al.*, 2012).

Conforme Sheng *et al.* (2011), nos dias atuais, a fim de aproveitarem a eficiência auferida nos processos de negócios pela automação, diversos setores adotaram a tecnologia. Como breves exemplos, cita-se: a gestão integrada da cadeia de abastecimento (FOSSO WAMBA, 2012), comércio varejista (PIRAMUTHU *et al.*, 2013), prevenção contra pirataria (RFID JOURNAL, 2014c), indústria de saúde (REYES *et al.*, 2012), Wal-Mart, Boeing, Airbus, DELL e DoD (CONDEA *et al.*, 2012; ILIE-ZUDOR *et al.*, 2011; WHITE *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2006), *United State Navy* (INTERMEC, 2007; RFID JOURNAL, 2012a), ATK (RFID JOURNAL BRASIL, 2013a), IVECO (RFID JOURNAL, 2010a), Força Aérea Brasileira (RFID JOURNAL BRASIL, 2011a), a mineradora Vale (RFID JOURNAL BRASIL, 2014a) e NASA (RFID JOURNAL, 2014a). Como finalidade co-

num a todas as organizações citadas, nota-se a utilização da tecnologia RFID para o rastreamento de itens de suprimento e controle de estoque.

A tecnologia RFID opera eficazmente na coleta de dados em tempo real, possuindo como principal vantagem a redução ou até mesmo a eliminação de intervenções humanas manuais e visuais (MEHRJERDI, 2009; MUSA *et al.*, 2014), sendo a troca de dados por meio de radiofrequência permite maior rastreamento de material e visibilidade ao longo de toda a CS, trazendo redução de custos, aumento da receita, incremento dos processos e qualidade de serviço (CHEN, *et al.*, 2013; CONDEA *et al.*, 2012; ILIE-ZUDOR *et al.*, 2011; REYES *et al.*, 2012; ZHU *et al.*, 2012). A aplicação mais comum da tecnologia RFID é em sistemas de gerência logística da cadeia de abastecimento, com ênfase no controle de estoques e gerência de inventário (LEME, 2009).

Em 2007, o RNCOS Group havia previsto um taxa de crescimento do mercado de RFID de aproximadamente 20,7% entre 2008-2016 (RNCOS Group, 2007). Em 2012, o ABI Research Service estimou que o mercado de componentes e serviços de RFID irá gerar 70,5 bilhões de dólares entre 2012 a 2017. Eficiência e incremento operacional são as metas almeçadas para a adoção da Tecnologia RFID. Ainda segundo a pesquisa, setores públicos, varejistas, empresas de transporte e setores logísticos serão responsáveis por 60% dos investimentos em cinco anos.

Mark Roberti, fundador e editor do RFID JOURNAL, ratificou o crescimento da aplicação do RFID, citando lançamentos de projetos pela Airbus, Veterans Health Administration e o DoD, bem como estudos de casos de variados setores apresentados por Daimler, Delta Air Lines, Detroit Diesel, Ingersoll Rand, Rehrig Pacific, Saks Fifth Avenue e Wake Forest Baptist Medical Center. A suntuosidade do escopo de cada projeto vai ao encontro da maturidade do RFID e sinaliza a certificação da tecnologia aplicada em missões críticas. Outro aspecto importante para a expansão da tecnologia é a mudança de percepção entre investidores que sentem o declínio de um ceticismo antigo (RFID JOURNAL, 2014b). Tal tendência é apoiada por pesquisa do RFID JOURNAL que retrata um ciclo de compra cada vez menor em relação a investimentos na tecnologia RFID.

Neste viés, a Conferência e Exposição Anual RFID JOURNAL LIVE! 2014, maior evento sobre a tecnologia RFID, experimentou uma maior procura sobre a aplicação da tecnologia por (RFID JOURNAL, 2014b):

- Varejistas.
- Industriais.
- Setor público.
- Comércio de lavanderias, aluguel de equipamentos e segurança.

2.6.1. O sistema RFID

O RFID é uma pequena etiqueta que contém um chip com circuito integrado com memória e uma antena, capaz de responder ondas de rádio transmitidas por um leitor RFID, a fim de enviar, processar e estocar informação.

O sistema RFID é composto por quatro componentes básicos, a saber:

- Etiqueta ou *Tag* – Também conhecido como transponder, possui um microchip conectado a uma antena. É por meio deste componente que um ativo poderá ser identificado (BACHU *et al.*, 2013; NGAI *et al.*, 2008).
- Leitor ou *Transceiver* – Por meio deste dispositivo, ondas de rádio são emitidas por uma ou mais antenas e recebidas de volta da etiqueta fixada em algum ativo, transformando a informação em formato digital a um sistema de computador (BACHU *et al.*, 2013; NGAI *et al.*, 2008).
- Antenas – As antenas (ou bobina) se apresentam em formatos e tamanhos distintos, variando conforme configurações e características peculiares, aplicada cada tipo de antena para diferente utilização (NGAI *et al.*, 2008).
- *Middleware* RFID – Este equipamento é utilizado pelo leitor para enviar a um SI os dados capturados da etiqueta, por meio de infraestrutura de comunicação, a cabo ou *wireless* (NGAI *et al.*, 2008).
- Sistemas de Informação – SI que utilizam os dados capturados por meio de computadores ou até mesmo sistemas integrados em rede (WU *et al.*, 2006).

As Figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam exemplos dos componentes básicos do sistema RFID.



Figura 13: Exemplos de tag.
Fonte: RFIDBr (2011).



Figura 14: Exemplos de leitores.
Fonte: RFIDBr (2011).



Figura 15: Exemplo de antenas
Fonte: RFID Journal (2013b)

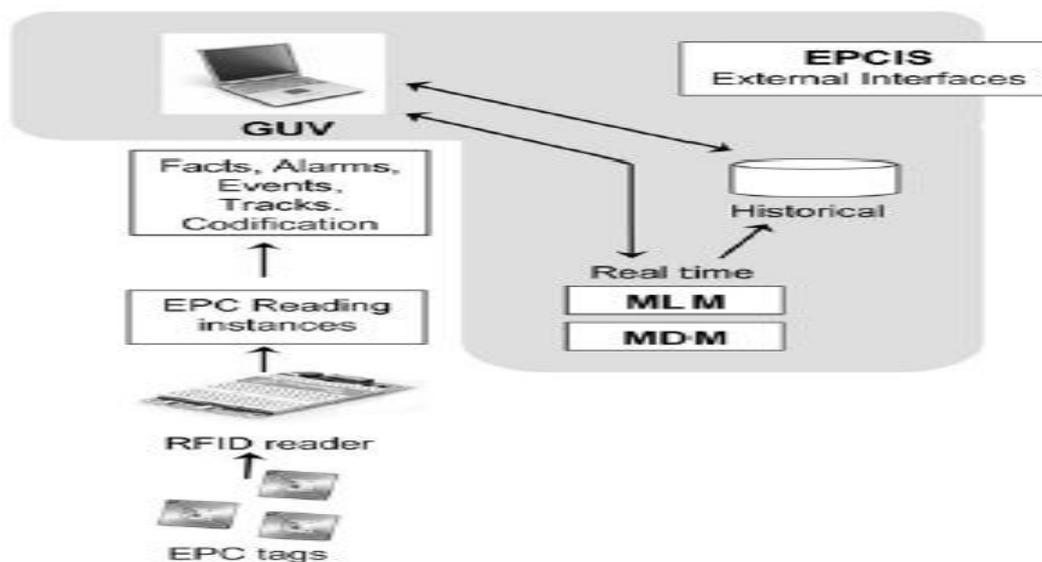


Fig. 1. Architecture of DEPCAS.

Figura 16: Exemplo de uma arquitetura *middleware*

Fonte: Cardiel *et al.* (2012)

A RFID digital funciona como um poderoso sistema de captura e monitoramento de dados em tempo real (ILIE-ZUDOR *et al.*, 2011; ZHU *et al.*, 2012). É imperativo que toda informação coletada seja processada com rapidez e retransmitida a outro sistema que dela venha a fazer uso, a fim do SCM alcance diferencial competitivo (MEHRJERDI, 2009). Logo, em paralelo ao avanço da tecnologia RFID, há um considerável crescimento da demanda de TI, com vistas a processar, armazenar, compartilhar e analisar os dados capturados ao longo da CS (FOSSO WAMBA, 2012).

A utilização do sistema RFID inicia-se nas gravações nos *tags* de informações sobre a identificação de um objeto que contém o próprio *tag*, por exemplo, volumes (caixas, paletes ou contêineres) ou mesmo nível de item (um único item identificado) que se deslocam ou estão armazenados ao longo da CS (CHEN *et al.*, 2013; CONDEA *et al.*, 2013; FOSSO WAMBA, 2012; LIM *et al.*, 2013).

Ato contínuo, o leitor cria um campo de leitura por meio da emissão de rádio frequência, utilizando uma ou mais antenas ligadas a ele, em busca de objetos a serem identificados. Quando o *tag* penetra o campo de leitura, ocorre um acoplamento entre ele e a antena. Logo, a etiqueta devolverá uma parte desta radiofrequência para as antenas, que a retransmitem ao leitor, enviando os dados estocados no *tag* do item (ZHU *et al.*, 2012).

Os dados que serão aplicados em SI corporativos são enviados por meio de *middleware*, após o leitor se conectar a uma base de dados ou sistema de gerenciamento (WU *et al.*, 2006). Neste viés, Cardiel *et al.*, (2012) propõem uma nova arquitetura de *middleware* RFID, o Sistema de Aquisição de Dados EPC ou DEPCAS que integra os propósitos dos atuais *middleware* RFID a um sistema de Controle e Supervisão de Dados Coletados ou SCADA.

Os seguintes conceitos importantes são estabelecidos por meio da arquitetura *middleware*: conversão de informação RFID para informações de negócio; distribuição de informação RFID aos processos de negócio; filtragem de informações; execução de processos de negócio a partir da RFID e vice-versa; gerenciamento dos equipamentos RFID; e consolidação das informações RFID (CARDIEL *et al.*, 2012).

A Figura 17 apresenta o funcionamento de um sistema RFID.

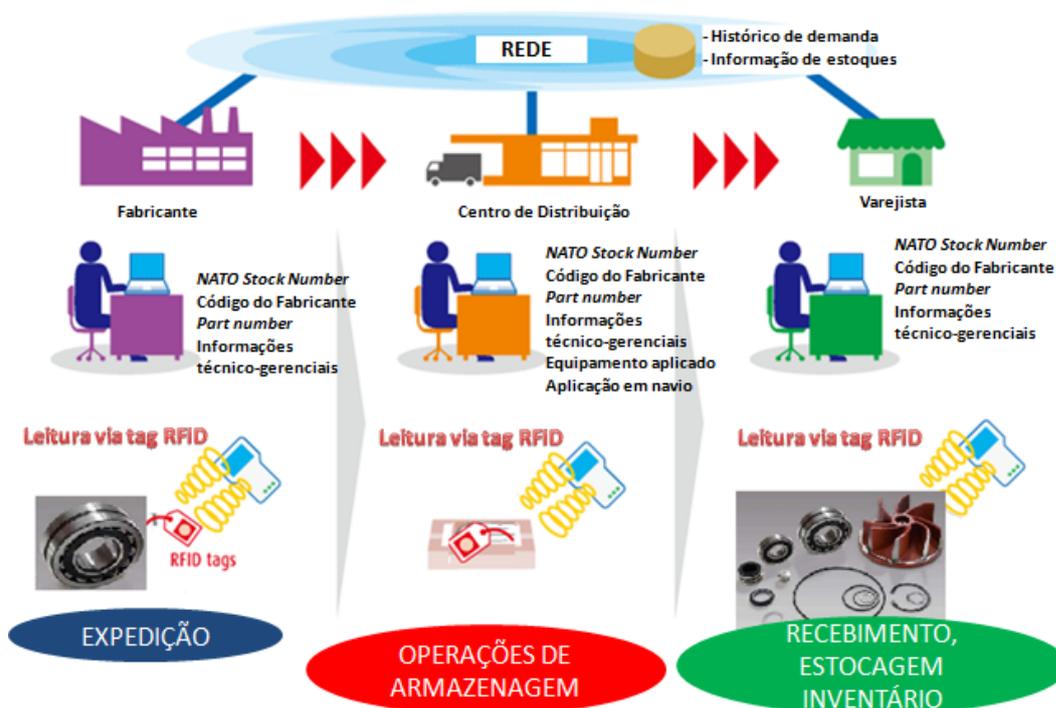


Figura 17: Funcionamento de um sistema RFID

Fonte: Adaptação Lee e Chan (2009)

Ademais, o funcionamento de um sistema RFID depende de outro importante elemento, qual seja a frequência de operação entre o *tag* e o leitor. Serão examinadas posteriormente tanto a exigência da aplicação de um sistema (velocidade e condição ambiental) quanto a decorrente seleção da frequência específica.

2.6.2. Componentes RFID

A seguir, serão expostos os principais componentes pertencentes a um típico sistema RFID, consignado em literatura especializada.

2.6.2.1. Antenas

As antenas são elementos condutores da comunicação de dados entre o *tag* e o leitor, a fim de possibilitar a troca ou envio de informações ao leitor. O *tag* RFID é ativado por meio de um sinal de rádio emitido pela antena, ocasião na qual a antena pode efetuar a leitura ou escrever algum dado.

Em função da arquitetura criada para atender aos requisitos de cada projeto, as antenas podem ser dispostas de diferentes maneiras e quantidades (NGAI *et al.*, 2008). Ao se tratar de deslocamento de produtos com etiquetas ao longo de esteiras para a coleta de informações pelas antenas do leitor, utiliza-se uma ou duas antenas. Ao passo que requisitado o deslocamento de produtos por hastes do portal de leitura, utiliza-se quatro antenas em formato de portais de leitura ou em formato de túnel quando onde o próprio ambiente pode interferir no sistema RFID.

Barbin (2009) classifica as antenas em leitura linear ou circular. Embora uma antena linear resulte em leitura menos precisas quando aplicada em configuração na qual a orientação da antena de uma etiqueta, com relação à antena do leitor, varia aleatoriamente, o alcance da antena de leitura linear é maior do que o alcance da antena de leitura circular. Logo, quando a orientação da etiqueta de um item é sempre a mesma, a antena linear é o tipo mais adequado.

2.6.2.2. Etiquetas

A etiqueta ou *tag* RFID, ao ser interrogado, transmite dados contidos no *tag* ao leitor. O principal propósito de uma etiqueta RFID é a fixação física de dados sobre um item, contendo um código de identificação único (*Electronic Product Code*) para identificar o item, podendo possuir alguns dados importantes para a operação, tais quais: número de série, modelo, cor, dados técnicos e número de

estoque ou *NATO Stock Number* (LEME, 2009; NGAI *et al.*, 2008; PRERADOVIC *et al.*, 2008).

Estão presentes na etiqueta os seguintes elementos básicos:

- Circuito integrado com memória: é microchip responsável pelo armazenamento e processamento de dados (WU *et al.*, 2006). A memória pode ser (HESSEL e AZAMBUJA *apud* BARBOSA, 2011; NGAI *et al.*, 2008; PRERADOVIC *et al.*, 2008): Somente leitura – *Read Only* (RO) – escrito na fase de produção, blinda a etiqueta contra adulteração posterior e permite apenas a leitura de dados; uma Gravação / Várias Leituras – *Write Once/Read Many* (WORM) – apesar de garantir a flexibilidade de gravação dos dados após a fabricação da etiqueta, reduzindo assim os custos de sua própria produção, a blindagem contra posterior adulteração da etiqueta permanece neste tipo de memória; Leitura / Gravação – *Read/Write* (RW) – esta memória é a mais flexível de todos os tipos, contudo sofre maior risco de adulteração.
- Antena: basicamente faz o recebimento e o envio de ondas de radiofrequência. A antena inicializa o processamento do chip ao energizar a etiqueta absorvendo a energia do campo de radiofrequência criado pelo leitor. O tamanho da antena afeta diretamente o tamanho da etiqueta e determina a capacidade de ler o sinal em certas distâncias. Com efeito, o formato da antena será afetado pelo tipo de frequência a ela associada: em geral, antena tipo baixa frequência (LF) e alta frequência (HF) possuem formato circular, bem como antenas de ultra-alta frequência (UHF) possuem etiquetas em formato retangular. (CHO *et al.*, 2012; HESSEL e AZAMBUJA *apud* BARBOSA, 2011).
- Conectores: conecta o circuito integrado à antena por meio de dois condutores, permitindo a facilidade de manuseio das etiquetas (HESSEL e AZAMBUJA, 2009).
- Encapsulamento: sustenta a estrutura *inlay* (circuito integrado, os conectores e as antenas) das etiquetas. Como suas funções precípuas, o encapsulamento deve propiciar suporte mecânico, aderência ao item a ser identificado, acomodação para bateria e sensores (para *tags* ativos) receberem identificação externa, resistência ao meio físico, proteção contra impactos,

superfície para impressão entre outras (LIMA JUNIOR *apud* BARBOSA, 2011). Existem dois tipos de *inlay*, a saber: *wet inlays* e *dry inlays*. Os primeiros possuem parte adesiva aposta atrás com uma camada de tereftalato de polietileno ou PVC. Em geral, são utilizados no controle de documentos, por serem aplicadas diretamente em substrato de papel. São também mais frágeis (KOO *et al.*, 2011). Os *dry inlays* são anexados ao substrato do material, no desenvolvimento de etiquetas metálicas, e estão em franco desenvolvimento como solução de durabilidade e fixação em superfícies metálicas (CHO *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2013; KOO *et al.*, 2011; RFID JOURNAL, 2013c; RFID JOURNAL, 2013d; ZHU *et al.*, 2012).

A Figura 18 apresenta a estrutura típica de uma etiqueta RFID:

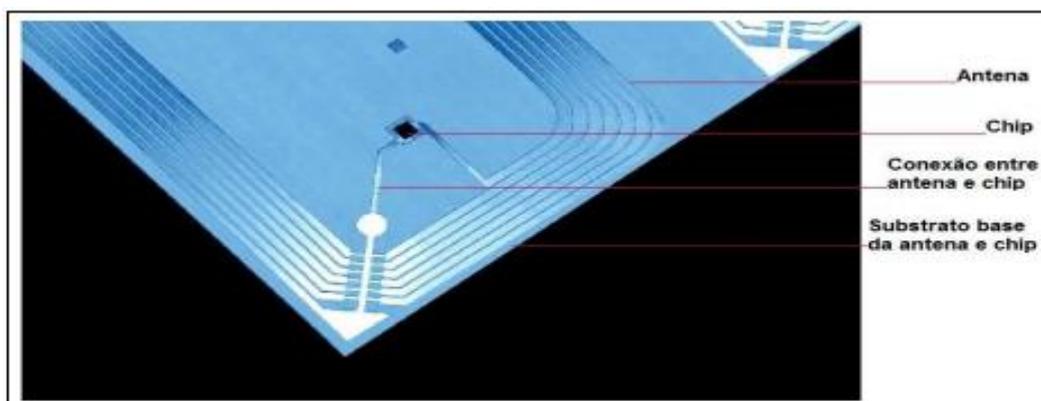


Figura 18: Estrutura típica de uma etiqueta RFID.
Fonte: Azambuja (2011).

As etiquetas possuem características construtivas e respectivas funcionalidades que serão determinantes para o estabelecimento de classificações considerando tais aspectos (AZAMBUJA, 2011).

Ao estabelecer contato com os interrogadores, os tags utilizam frequências específicas discriminadas por faixa de operação, conforme abaixo:

- Baixa frequência (LF) – 30 KHz a 300 KHz.
- Alta frequência (HF) – 3 Mhz a 30 Mhz.
- Ultra alta frequência (UHF) – 300 Mhz a 3 Ghz.

A faixa de operação das etiquetas será função de requisitos da aplicação da tecnologia RFID. Por exemplo, ao adotar o RFID em suas operações logísticas, a Wal-Mart impôs aos seus fornecedores a aplicação de *tags* UHF (ZHU *et al.*, 2012). Em geral, as etiquetas LF são utilizadas no controle de acesso e rastrea-

mento de itens, bem como possuem melhor desempenho na presença de líquidos. As etiquetas HF transmitem taxa maior de dados, além de possuírem um alcance maior.

Os *tags* se diferenciam também em função da capacidade de armazenamento. Existem etiquetas que armazenam 1 bit até *tags* que possuem capacidade muito grande de armazenamento. Contudo, a capacidade de 64 e 512 bits são as mais comuns no mercado, sendo o último valor ainda mais frequente para etiquetas UHF (AZAMBUJA, 2011; QUENTAL JR. *apud* BARBOSA, 2011).

A forma como o *tag* será afixado ao item a ser identificado é critério essencial para a tomada de decisão sobre qual etiqueta empregar. Segundo Hessel e Azambuja (2009), o mapeamento dos impactos mecânicos e condições ambientais nos quais os *tags* estarão expostos, bem como o melhor posicionamento deles em relação ao raio de leitura são fatores preponderantes a serem analisados na fase inicial de quaisquer projetos (WU *et al.*, 2006).

Por meio da fusão entre *European Article Number* (EAN) e o *Uniform Code of Council* (GSI) foi criada a *EPC Global Inc.* para estabelecer uma classificação de etiquetas por classe *EPC global* que combina diversos aspectos, tais quais: frequências, métodos de acoplamento, tipos de chaveamento e modulação, capacidade de armazenamento de informações e modos de interoperabilidade (FÉLIX, 2009). A Tabela 3 expõe as classes existentes:

Tabela 3: Classe da Etiqueta EPCGlobal

Classes	Descrição
Classe 0	Passivas, apenas de leitura.
Classe 0 +	Passivas, grava uma vez, mas usando protocolos de Classe 0.
Classe 1	Passivas, com possibilidade de escrita (única).
Classe 2	Passivas, grava uma vez com funcionalidades adicionais, como encriptação.
Classe 3	Regravável, semi-passiva, sensores integrado.
Classe 4	Regravável, ativa, comunicação ponto a ponto entre duas etiquetas na mesma banda de frequência e se comunica com outros leitores.
Classe 5	Essencialmente os leitores podem energizar e ler etiquetas das classes 1, 2 e 3 a se comunicar com <i>tags</i> classes 4 e 5.

Fonte: Barbosa (2011).

Ao ser interrogado por um leitor, os dados da memória do *tag* são coletados e transmitidos. Para que o *microchip* da etiqueta execute qualquer tipo de processamento, mesmo que seja apenas responder ao leitor, é necessária uma fonte de energia que alimente seus circuitos. Apesar de Zhu *et al.* (2012) classificarem as etiquetas somente em dois tipos, Lahiri apud Félix (2009), Hessel e Azambuja (2009) e Azambuja (2011) classificam as etiquetas eletrônicas em três tipos, de acordo com a fonte de energia ou tipo de alimentação (LEME, 2009):

- Passivas

As etiquetas passivas se caracterizam por não necessitarem de baterias internas (FÉLIX, 2009; AZAMBUJA, 2011), tornando imperativa a utilização de um leitor para este tipo de etiqueta.

Os *tags* passivos precisam estar na presença do campo eletromagnético do leitor, sendo alimentadas pela energia desse campo magnético que produzirá uma corrente elétrica no *tag* e assim o circuito integrado a utiliza para habilitar as funções de leitura, escrita e transmissão (HESSEL e AZAMBUJA apud BARBOSA, 2011).

As etiquetas passivas podem operar nas faixas de frequências LF, HF e UHF (ZHU *et al.*, 2012). Em geral, sistemas de LF operam em 124 Khz, 125 Khz ou 135 Khz. Os sistemas de HF utilizam a banda 13,56 Khz. Já os sistemas UHF utilizam-se da banda de 860 a 960 Mhz. Alguns sistemas também utilizam 2,45 Mhz e outras áreas do espectro eletromagnético. A Figura 19 ilustra o processo de funcionamento em lide:



Figura 19: Sistema RFID passivo.
Fonte: SILVA (2010).

A principal desvantagem das etiquetas passivas é o baixo alcance de leitura (aproximadamente 10 metros), exigindo em um leitor com alta potência (BARBOSA, 2011; LEME, 2009). Ao revés, sua principal vantagem reside na baixa complexidade de sua estrutura que resulta em baixo

custo (cerca de vinte centavos de dólar cada etiqueta) e menor tamanho se comparado com outros tipos de etiqueta. Grande resistência e vida útil alongada também são características destes *tags*.

Azambuja (2011) afirma que em situações onde o custo é fator crítico para a escolha da solução, os *tags* sem circuitos integrados e do tipo RO serão a solução ótima. Contudo, para a utilização de etiquetas com circuitos integrados se fazer mister, serão necessários seguintes requisitos provenientes dos processos de negócio: etiquetas para armazenar um número de identificação com tamanho suficiente a fim de ser capaz de combinar um grande volume de itens; e quando o equipamento leitor for capaz de ler múltiplas etiquetas em uma mesma área de alcance de leitura. Nesta última, os protocolos anti-colisão necessitam que a etiqueta tenha um mínimo de capacidade computacional.

Atualmente, o *European EPC Competence Center's UHF Tag performance Survey* publicaram um ganho no alcance da leitura de *tag* passivo UHF de 20% em relação a 2012. Tais pesquisas foram orientadas para incrementar o desempenho de *transponders* UHF utilizados para rastreamento de itens na cadeia de suprimentos (RFID JOURNAL, 2013e).

Neste viés, a ATK implantou etiquetas passivas RFID UHF para rastrear peças de aeronaves produzidas em sua fábrica, a fim de monitorar o ciclo de vida dos materiais e acompanhar o processo de produção (RFID JOURNAL BRASIL, 2013a).

Ademais, a Companhia Vale do Rio Doce, mineradora mundial com sede no Brasil concluiu com êxito o projeto piloto de utilização de RFID para o gerenciamento de estoque para mais de 1.300 volumes de materias com a adoção de *tags* UHF passivos, Classe 1 Geração 2 (RFID JOURNAL BRASIL, 2014a).

- Semi-passivas

As etiquetas semi-passivas são compostas por tecnologias das etiquetas ativas e passivas. Esse tipo de etiqueta possui fonte de energia, porém não possui equipamento de transmissão ativa, respondendo somente aos sinais do leitor (AZAMBUJA, 2011). Tais *tags* não estão permanen-

temente ativos, operando apenas ao receberem estímulo do leitor (HESSEL e AZAMBUJA, 2009).

O sinal de transmissão enviado pelo *tag* semi-passivo para o leitor é mais forte, tendo um alcance maior (cerca de 30 metros) quando comparadas com as etiquetas ativas. Ademais, em função de sua bateria interna, os *tags* semi-passivos são mais espessos do que os *tags* passivos, e sua bateria deve ser acompanhada e eventualmente substituída (menor tempo de vida útil). As etiquetas semi-passivas possuem tamanhos variados dependendo do alcance e da sua funcionalidade requisitados, em geral são maiores do que as etiquetas ativas e mais caras (HESSEL e AZAMBUJA, 2009; LEME, 2009). A Figura 20 ilustra o funcionamento do sistema em questão:

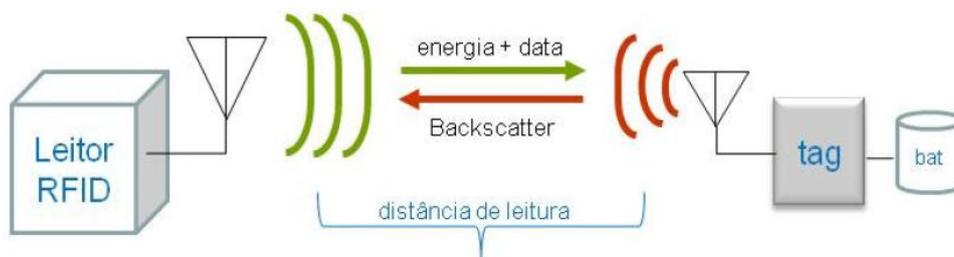


Figura 20: Sistema RFID semi-passivo.
Fonte: SILVA (2010).

- Ativas

Os *tags* ativos se distinguem das demais por possuírem um transmissor e uma bateria interna que opera como fonte de potência para suportar a comunicação entre o *tag* e o leitor, melhorando seu desempenho em relação ao alcance (centenas de metros). Além disso, tais *tags* respondem a sinais com potência mais baixa e possuem maior capacidade de armazenamento. De forma semelhante aos *tags* semi-passivos, as baterias internas devem ser acompanhadas e eventualmente trocadas. Ainda a sim, são *tags* mais complexos, por conseguinte mais caros e com tempo de vida útil restrito (máximo de 10 anos) (AZAMBUJA, 2011; PRADO apud BARBOSA, 2011; HESSEL e AZAMBUJA, 2009; LEME, 2009).

As etiquetas ativas são utilizadas em soluções RFID mais complexas, nas quais as condições ambientais e os requisitos das aplicações exigem uma comunicação mais robusta entre etiqueta e leitor (HESSEL e

AZAMBUJA, 2009), possibilitando armazenar uma quantidade de informação maior do que as etiquetas passivas e semi-passivas. A Figura 21 demonstra tal funcionamento:

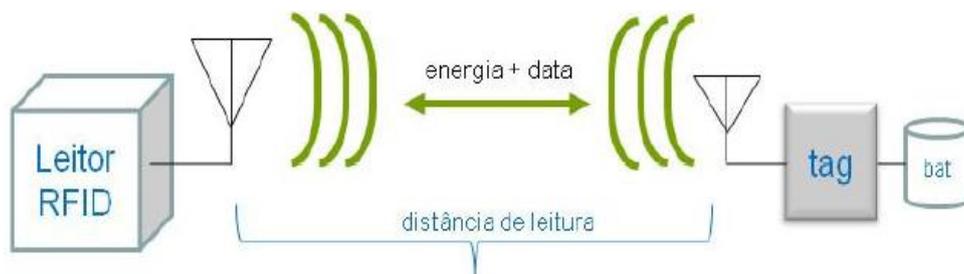


Figura 21: Sistema RFID ativo.
Fonte: SILVA (2010).

O *Advanced Light Source*, sediado no *Lawrence Berkeley National Laboratory*, promoveu a instalação de *tags* RFID ativos para rastrear mais de 125 equipamentos utilizados por pesquisadores e técnicos armazenados em vários depósitos distintos (RFID JOURNAL, 2011a).

2.6.2.3. Leitor

Um leitor (ou interrogador) RFID é um dispositivo capaz de ler dados atrelados à etiqueta fisicamente aposta ao item, bem como escrever em tal etiqueta quando compatível. O estabelecimento de comunicação entre a etiqueta e o leitor permite o alcance de monitoramento e rastreamento do item por possuir informações sobre a localização de um item a ser gravado e transferido para um servidor por meio de uma rede de computadores. Clarividente, que a compatibilidade da comunicação entre tag e leitor é percebida quando ambos operam na mesma frequência, atentando e cumprindo com regulamentação específica e protocolos (NGAI *et al.*, 2008).

Sendo assim, o leitor permanece emitindo frequências de rádio, sinais de interrogação, de forma dispersa no espaço, dependendo da saída e da frequência de rádio utilizada. A localização estratégica dos leitores é de suma importância para possibilitar a interrogação dos tags quando seus dados forem demandados. Este por sua vez transmitirá o sinal de volta para o leitor com as informações contidas na sua memória (BARBOSA, 2011). Tal característica torna desnecessário o

campo visual para realizar a leitura da etiqueta, tendo a capacidade de ler através de materiais como papel, cimento, madeira, plásticos, vidro, entre outros.

O campo magnético é identificado pelo leitor, quando o *tag* atravessa a área de cobertura da antena. Ato contínuo, o leitor decodifica os dados que estão codificados no *tag*, passando-os para um computador realizar o processamento (NGAI *et al.*, 2008).

A tomada de decisão sobre qual tipo de leitor utilizar para uma determinada aplicação passará pela análise de aspectos como a especificação do *hardware* e *software* a serem utilizados. Em geral, o tamanho e a funcionalidade do leitor traduzem seu custo. Quanto à mobilidade, os leitores podem ser classificados em Posição fixa e Portátil (AZAMBUJA e HESSEL, 2009; BARBOSA, 2011; FÉLIX, 2009).

Os leitores de posição fixa são posicionados em locais específicos, tais como esteiras automáticas, portais, docas de carregamento ou túnel. Em geral, os arranjos de antenas permitem a ligação de até quatro antenas, a fim de maximizar a área de coberta pela leitura de um único leitor fixo. Ao serem fixados na configuração de portal, os leitores adquirem mobilidade, aumentando a precisão e a acurácia de leitura em um local específico de passagem de itens a serem controlados, sendo capaz de rastrear automaticamente e em tempo real itens com etiquetas.

Hessel e Azambuja (2009) afirmam que os leitores fixos são permanentemente conectados a computadores através de interfaces seriais ou *Ethernet*, e a cada leitura de *tag* realizada os dados capturados são simultaneamente transmitidos para um computador, possibilitando a verificação da existência do código da etiqueta em banco de dados específico e a realização de tratamento com os códigos das etiquetas identificadas em função das necessidades do sistema logístico.

Dentre vários exemplos, cita-se as Forças Armadas Australianas que adotaram o RFID ativo em cargas embarcados com destino ao Oriente Médio e com destino à própria Austrália, a fim de apoiar as operações logísticas das Forças combatentes da OTAN e alcançar maior interoperabilidade junto as demais Forças da OTAN. Os leitores utilizados pelas Forças Australianas são leitores fixos e leitores portáteis (RFID JOURNAL, 2007).

Os leitores portáteis e os fixos comungam dos mesmos recursos, porém a principal diferença é que a potência dos leitores portáteis é menor, contudo estes

possuem significativa mobilidade e flexibilidade, uma vez que o usuário poderá deslocar o leitor próximo ao item de interesse e coletar todas as informações da etiqueta. Em face do tamanho reduzido, os leitores portáteis possuem antenas menores, resultando em menor distância máxima de leitura.

Conforme Hessel e Azambuja (2009), esses leitores possuem *display* de LCD (*liquid crystal display*) permitindo a verificação de códigos lidos no mesmo tempo da captura dos dados, bem como conexões em rede (*Bluetooth*, *Wi-Fi*, entre outras) para, posteriormente, comunicar-se com computadores (NGAI *et al.*, 2008).

Dentre vários exemplos de aplicação, tem-se o varejista holandês do setor têxtil *Coccinelle* que implantou leitores portáteis RFID em seus pontos de vendas para gerenciar seu inventário, mitigando as faltas de itens para venda (RFID JOURNAL, 2014d). Outro exemplo, o projeto de utilização de leitores portáteis a bordo de navios de superfície da Marinha Americana para o controle de inventário de ferramentas a bordo (RFID JOURNAL, 2012a).

A Figura 22 exemplifica os tipos mais comuns de posicionamento de leitores.

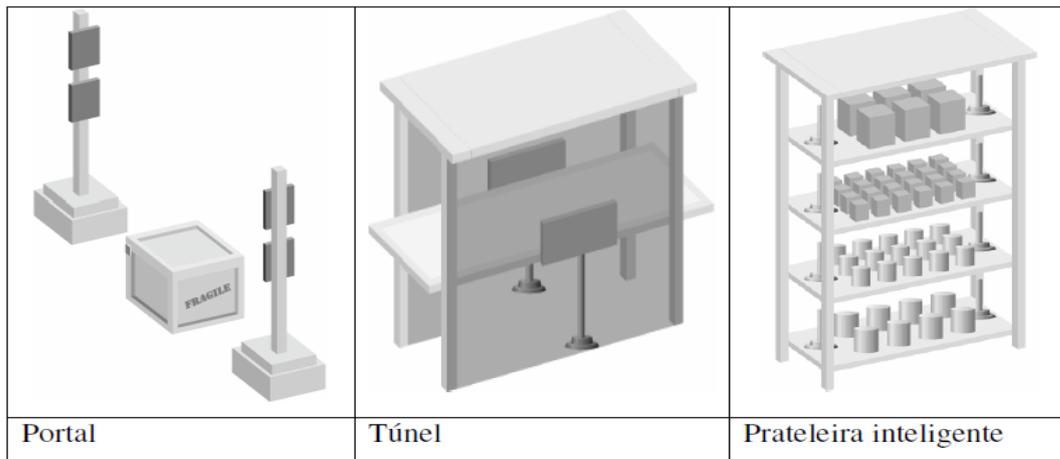


Figura 22: Tipos de posicionamento de leitores.
Fonte: Félix (2009).

Glover e Bhatt *apud* Félix (2009) definem um sistema de prateleira inteligente como um conjunto de prateleiras, ou outro tipo de contentor, que constantemente registra os itens individuais que contêm. Ao adicionar ou retirar um item, a prateleira simultaneamente atualiza o estoque e avisa ao usuário.

Hessel e Azambuja (2009) explicitam que as especificações físicas a serem consideradas na escolha de um leitor RFID são emanadas pelo fabricante, em sua

maioria. Ainda assim, os autores selecionam os seguintes aspectos que colaborarão na escolha do leitor correto para cada requisito de aplicação: frequência de operação; protocolos suportados; potência de saída das antenas; número de antenas que pode ser utilizado; configuração de software; e atualizações disponíveis.

O leitor deve se comunicar com um computador para propiciar a utilização das informações capturadas nas etiquetas. As conexões podem ser serial; USB; Ethernet; e Interfaces para conexão sem fio, tais como *Wi-Fi* e *Bluetooth* (caso a rede sem fio trabalhe com a mesma frequência do sistema RFID o desempenho da zona de leitura das etiquetas pode ser afetado) (NGAI *et al.*, 2008; HESSEL e AZAMBUJA, 2009).

2.6.2.4.

Middleware

O *middleware* é essencialmente uma ferramenta de *software* para a integração de sistemas, sendo responsável por construir a interface entre as diferentes camadas de um ambiente de TI. É considerado como a espinha dorsal de quaisquer sistemas RFID, sendo utilizado para gerenciar todo o sistema de maneira integrada, posicionado estrategicamente para abarcar todos os processos logísticos de uma organização e configurado para orquestrar automaticamente a execução de processos de negócios internos e externos (FOSSO WAMBA, 2012).

Em geral, cada plataforma de *middleware* possui um domínio de aplicação específico. Cita-se como exemplo: *middleware* para RFID, *middleware* para banco de dados de alto desempenho, *middleware* para compartilhamento de dados etc.

A integração entre as leituras efetuadas pelo sistema RFID aos processos de negócios apoiados por sistemas ERP, WMS, dentre outros, torna-se uma atividade difícil em função da diversidade, qualidade de dispositivos e ao volume de dados RFID gerados por uma rede de leitores. Portanto, a resposta adotada é a utilização de uma plataforma de *middleware* RFID, a fim de resolver o abismo entre mundo físico RFID e SI corporativos.

Ao permitir que os recursos humanos da área de TI se preocupem mais com as regras do negócio e menos com a infra-estrutura, o uso do *middleware* RFID configura um diferencial vantajoso na adoção da tecnologia. O *middleware* faz com que a integração do RFID entre os sistemas legados seja menos dispendi-

osa em relação às soluções tradicionais, uma vez que proporciona a redução do volume de informações para os sistemas de *back-office* e a provisão de uma interface a nível de aplicação que possibilite gerenciar os leitores e obter leituras de *tags* RFID de forma fácil e pragmática (QUENTAL JR. *apud* BARBOSA, 2011).

Embora uma aplicação não necessariamente demande a utilização de um *middleware* para interagir com a rede de leitores RFID, os protocolos de comunicação específicos de cada leitor, o tratamento dos detalhes de envio de comandos para realizar operações de leitura e escrita em etiquetas RFID de diferentes formatos, o gerenciamento e acompanhamento da rede de leitores e o processamento de todo o volume de dados gerado pela infraestrutura RFID deverão ser engendrados de qualquer forma. Em um sistema de médio ou grande porte, torna-se inviável tratar todas essas questões em cada aplicação, pois isso diminui consideravelmente a produtividade, dificulta a manutenção e gera uma complexidade significativa para integrar um novo equipamento à rede (MACHADO *et al.*, 2009).

Um *middleware* RFID pode ser operado em quaisquer dispositivos computacionais sendo exigido que tais dispositivos atendam aos requisitos mínimos para sua instalação e execução, isto é, pode ser executado desde em um leitor RFID até em um *cluster* de servidores. Ou seja, o local de instalação e implantação de um *middleware* RFID depende das demandas e do escopo específicos de cada adoção.

É desejável que as implementações de *middleware* RFID satisfaçam os requisitos listados abaixo, a fim de atender as necessidades comuns de diferentes soluções RFID (CARDIEL *et al.*, 2012; FLOERKEMEIER *et al. apud* MACHADO *et al.*, 2009):

- Filtro de dados – Os Sistemas de Informação que gerenciam uma grande gama de dados de entrada devem possuir uma política retenção de dados. O processo de filtragem pode ser tão simples como a eliminação de todas as informações desconhecidas ou tão complexa quanto às operações que gerenciam cada passo temporal em estrutura de rede a fim de garantir a qualidade dos dados. Em sistema de aquisição de dados RFID o fluxo de leitura dos *tag* são filtradas de acordo com um prévio algoritmo que auxilia a aplicação a receber apenas informações relevantes.
- Conversão da informação RFID no formato de negócio – O fluxo de informações recebido em formato bruto pelo sistema RFID deve ser traduzido para as informações de negócio.

- Gerenciamento de configurações e falhas – A disseminação dos leitores RFID para rastreamento de ativos e a dependência que o processo de negócio pode ter em relação ao bom funcionamento desses equipamentos fazem com que a existência de um serviço de configuração remota e de gerenciamento da rede leitores seja fundamental para o sistema como um todo. Ou seja, como os leitores são distribuídos e instalados.
- Leitura e escritas em etiquetas RFID – Um *middleware* RFID deve prover uma interface uniforme e padrão para a aplicação realizar operações de leitura e escrita em etiquetas RFID, independentemente do formato de memória e fabricante.
- Agregação de dados – Sistemas RFID geram um enorme volume de dados que devem ser agregados para gerar informações de mais alto nível para as aplicações. Tais informações resultam de processos específicos e homogêneos ao longo do sistema. À guisa de exemplo, um serviço do *middleware* poderia agregar dados RFID para detectar atividades que acusam a entrada ou saída de objeto por um portal, possibilitando uma atividade ser notificada, com maior precisão, sobre um processo que está relacionado com uma série de outros processos de negócio.
- Disseminação de dados – As informações coletadas pelos leitores RFID não são de interesse exclusivo de uma única aplicação, mas de um conjunto de aplicações de uma organização ou membros de uma cadeia de abastecimento. As informações devem ser processadas e repassadas somente para membros que possuem interesse nos dados gerenciados. Um *middleware* deve prover suporte à comunicação síncrona baseada em eventos e no modelo requisição x resposta, em razão da forma de comunicação entre as aplicações. Ademais, o *middleware* deve atender aos distintos requisitos das aplicações em relação a definição do atraso aceitável para a entrega dos dados. Por exemplo, existem aplicações que devem receber os dados em tempo real, mitigando atrasos, e outras podem receber os dados em lote.
- Integração com sistema legado – o sistema RFID deve ser encarado como mais uma fonte de dados que deve ser integrada às diversas aplicações existente em uma organização. Logo, o *middleware* deve prover serviços

de integração que contabilizem a heterogeneidade dos sistemas legados, dispondo de interface flexível para integração com outros sistemas, de forma independente da linguagem de programação e plataforma de execução.

- Interpretação de dados – A partir de uma perspectiva da aplicação, é desejável que os eventos de identificação de etiquetas específicas sejam traduzidos em eventos relacionados ao contexto do negócio da aplicação. Por exemplo, ao detectar que um lote de etiquetas passou por um determinado portal, pode-se deduzir que o carregamento de um determinado produto foi finalizado.
- Conformidade com padrões de *middleware* – Com vistas a garantir a interoperabilidade entre implementações distintas de *middleware* RFID usada em uma cadeia de abastecimento, é de suma importância que as soluções de *middleware* adotem padrões já existentes, a fim de mitigar eventuais problemas de integração e compartilhamento de informações.

2.6.3. Faixa de Frequência

A faixa de frequência é uma característica que permite a distinção do sinal irradiado em forma de ondas eletromagnéticas em relação a outros sinais, quando captado por uma antena receptora, a fim de recuperar a informação contida em um determinado sinal.

Logo, um aspecto pertinente para um sistema RFID é a frequência utilizada para comunicação entre a etiqueta e o leitor, conhecida também como frequência de operação. A decisão sobre qual frequência operar em um sistema RFID dependerá dos requisitos da aplicação, tais como: condições ambientais, custos das antenas, velocidade de transferência de dados, resistência à interferência, entre outros aspectos.

A Figura 23 apresenta as faixas especiais das frequências mais utilizadas em RFID:

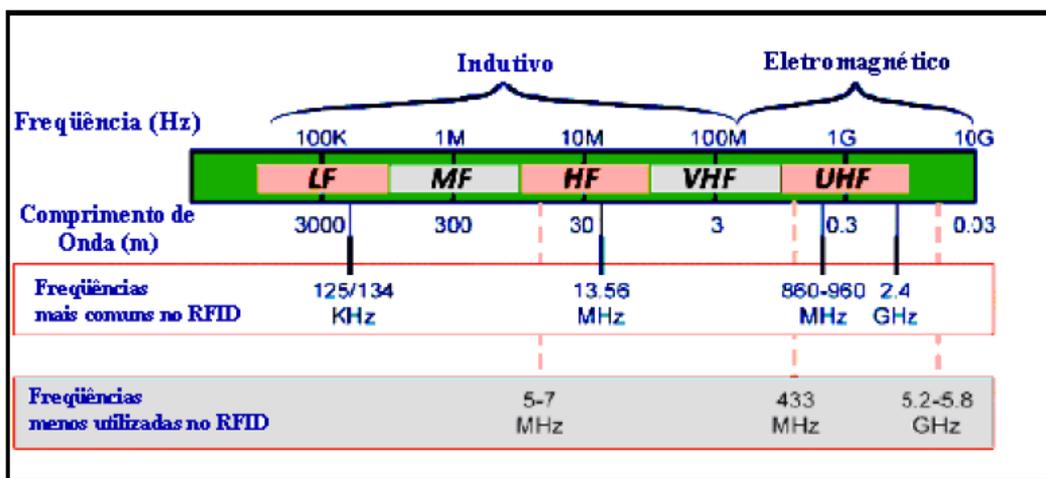


Figura 23: Faixas especiais das frequências mais utilizadas em RFID
 Fonte: Leme, 2009.

Em geral, a frequência traduz a taxa de transferência de dados entre a etiqueta e o leitor sendo que em frequências mais baixas, a velocidade de transmissão é menor. Outro aspecto, os sinais de baixa frequência possuem desempenho melhor ao se tratar de propagação em água, ao passo que frequências maiores possuem desempenho melhor ao transportar mais informações em distâncias maiores.

Ademais, antenas menores e etiquetas com tamanhos reduzidos significam frequências mais altas resultando em um bom alcance de leitura. Tais características evidenciam a grande expansão do uso das etiquetas UHF em aplicações ao redor do mundo (RFID JOURNAL, 2014e).

2.6.3.1. Regulamentação de Radiofrequência

As frequências disponíveis para RFID estão ligadas às bandas reservadas, conhecidas como ISM – *Industrial, Scientific and Medical*. As bandas ISM são bandas que não exigem licenciamento fazendo com que cada espaço de espectro seja extremamente disputado (GLOVER e BHATT, 2007). Portanto, as entidades reguladoras de cada país devem efetuar um controle muito rigoroso limitado no âmbito nacional. Tal limitação restringe a adoção de uma solução mundial para as bandas de frequência do funcionamento de uma dada tecnologia. Ilie-Zudor *et al.* (2011) expõem a divisão do globo terrestre em três regiões, a fim de mitigar os problemas relacionados à padronização das alocações de frequências, o globo foi dividido em três regiões: Europa, África e Oriente Médio (Região 1), Américas do

Norte e do Sul e leste do Pacífico (Região 2) e Ásia, Austrália e oeste do Pacífico (Região 3), conforme Figura 24.

Logo, determinados países geograficamente posicionados em uma das três regiões são obrigados a cumprir as normas da entidade reguladora. No Brasil, segundo as regulamentações da ANATEL, o RFID UHF opera no espectro de 902 a 907.5 Mhz e de 902 a 907,5 MHz ou 915 à 928MHz. Tal regulamentação alinhou o Brasil ao padrão dos EUA (AZAMBUJA, 2011).

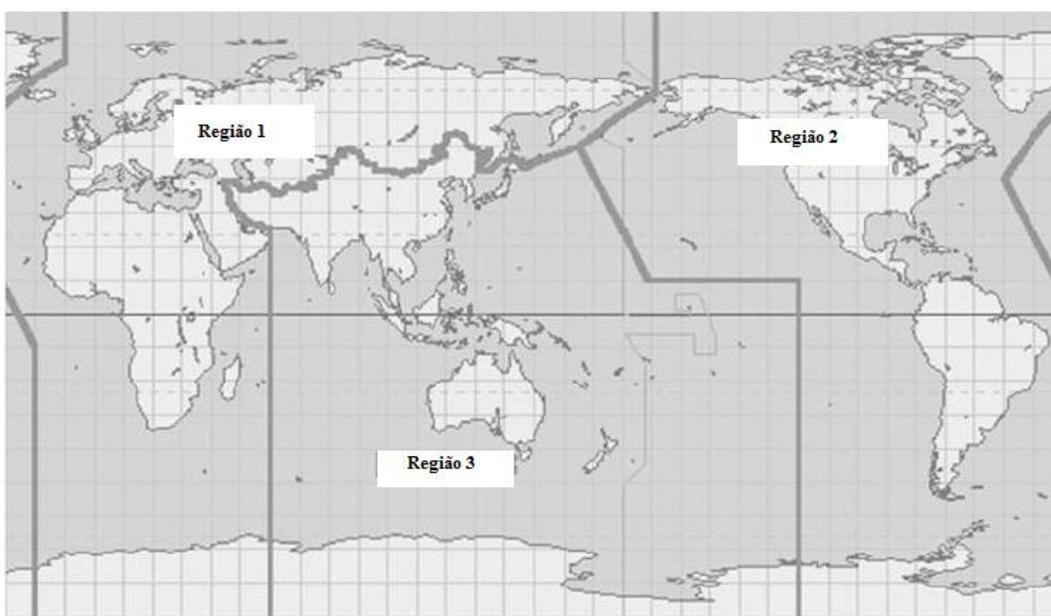


Figura 24: Regulamentação para sistemas de radiofrequência ao redor do mundo
Fonte: Adaptação Harvey, 2012.

2.6.3.2. Faixas de Frequências Utilizadas

A faixa de frequência definida para a solução do sistema RFID determinará cada um dos componentes de um sistema. Ou seja, para cada aplicação RFID deve ser avaliada qual é a melhor frequência de operação. Atualmente, o espectro de frequência no qual sistemas RFID operam variam em três faixas (AZAMBUJA, 2011; BARBOSA, 2011; FÉLIX, 2009; LEME, 2009; HESSEL e AZAMBUJA, 2009; WU et al., 2006; ZHU et al., 2012):

- LF (Low Frequency) – Faixa de operação de 125 kHz até 134 kHz. São denominados sistemas de Baixa Frequência;
- HF (*High Frequency*) – Faixa de operação de 13,56 MHz. São denominados sistemas de Alta Frequência; e

- UHF (*Ultra High Frequency*) – Faixa de operação de 860 MHz até 960 MHz. São denominados sistemas de Ultra Alta Frequência.

A Tabela 4 mostra as várias frequências operacionais em aprovadas e em uso pelo mundo.

Tabela 4: Frequências operacionais RFID.

<i>Band</i>	<i>Frequency</i>	<i>System</i>	<i>Regions/Countries</i>
Low frequency (LF)	125–134 kHz	Inductive	United States, Canada, Japan, and Europe
High frequency (HF)	13.56 MHz	Inductive	United States, Canada, Japan, and Europe
Very high frequency (VHF)	433.05–434.79 MHz	Propagation	In most of Europe, United States (active tags at certain locations must be registered with the FCC), and under consideration in Japan
Ultrahigh frequency (UHF)	865–868 MHz	Propagation	Europe, Middle East, Singapore, Northern Africa
Ultrahigh frequency (UHF)	866–869 and 923–925 MHz	Propagation	South Korea, Japan, New Zealand
Ultrahigh frequency (UHF)	902–928 MHz	Propagation	United States, Canada, South America, Mexico, Taiwan, China, Australia, Southern Africa
Ultrahigh frequency (UHF)	952–954 MHz	Propagation	Japan (for passive tags)
Microwave	2.4–2.5 and 5.725–5.875 GHz	Propagation	United States, Canada, Europe, Japan

Fonte: Harvey, 2012.

As principais características dos sistemas de LF são:

- Operam entre as frequências 125 ou 135 kHz.
- Em geral, são utilizados em *tags* passivos.
- Baixa taxa de transferência de dados a partir da etiqueta para o leitor.
- Capacidade de leitura de múltiplos *tags* é baixa.
- Baixa sensibilidade na presença de metais, líquidos, poeira, neve ou lama.
- Baixo custo.
- Curto alcance de leitura (menor que 0,5 m).
- Principais aplicações: controle de instrumentos cirúrgico, rastreamento de animais, controle de acesso, identificação de bagagens em linhas aéreas e biblioteca.

As principais características dos sistemas de HF são:

- Operam na frequência de 13,56 MHz.
- Em geral, são utilizados em *tags* passivos.
- Baixa taxa de transferência de dados a partir da etiqueta para o leitor.

- Alta capacidade de leitura de múltiplos *tags*.
- Alta sensibilidade na presença de metais.
- Médio custo.
- Normalmente o alcance de leitura é menor que 1m (em campo bem definido protege o sistema de leituras indevidas).
- Baixo custo das etiquetas.
- Aplicações: controle de acesso, sistemas de pagamento, bilhetes de transportes, gerenciamento de produtos, gerenciamento de bibliotecas e gôndola inteligente.

As principais características dos sistemas de UHF são:

- Operam nas frequências entre 850 e 960 MHz em sistema passivo e um típico sistema ativo opera em 433 MHz (a frequência de operação varia de acordo com as regulamentações de cada país).
- Utiliza *tags* ativos e passivos.
- Alta taxa de transferência de dados entre o *tag* e o leitor.
- Capacidade de leitura de múltiplos *tags* (com protocolo de anti-colisão, até 1000 *tags*/segundo).
- Alto alcance de leitura, distância de até 10m (*tags* passivos) e 100m (*tags* ativos).
- Etiquetas com tamanho reduzido com custo mediano.
- Alta sensibilidade na presença de metais, uma solução adotada tem sido o encapsulamento da etiqueta quando fixadas em objetos metálicos.
- Aplicações: cadeia de suprimentos (nível *pallet*, caixa e item), controle de inventário, gerenciamento de armazéns, gerenciamento de bibliotecas, gôndola inteligente e gestão de estoques de varejistas têxteis.

2.6.4. Padronização de estruturas de dados

A integração dos dados ao longo da CS impulsionou a criação de codificações como UPCC (*Uniform Product Code Council*) ou UPC contendo 12 dígitos, adotado nos EUA e Canadá e administrado pelo UCC (*Uniform Code Council*), e o EAN (*European Article Number*), composto de 13 dígitos, adotado pelos demais países. Tais criações refletem o esforço de padronização almejado. Então, o Sis-

tema de Codificação EAN/UCC foi engendrado a partir da união dos dois sistemas.

O Número Global de Item Comercial – GTIN (*Global Trade Item Number*) principal criação da GS1 (antiga EAN) corresponde a estruturas de numeração padronizadas próprias para identificação de itens comerciais e unidades logísticas (CORONADO, 2007). Como o próprio nome sugere, o GTIN auxilia a automação de processos de negócios em transações comerciais. O GTIN pode ser atribuído a quaisquer itens ao longo da cadeia de abastecimento, entregando como principal benefício o compartilhamento de informações sobre os itens (GS1, 2014). Por exemplo, o UPC é um gênero da espécie GTIN. A família de estruturas de dados do GTIN e as aplicações de cada variante são mostradas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Estruturas do GTIN

GTIN-13 (EAN/ UCC-13)	Uso geral para todos os itens, que recebem preço e podem ser comercializados pela cadeia de suprimentos. Itens unitários; embalagens <i>multipacks</i> , e algumas caixas – quando constam no catálogo de vendas de um fornecedor, são referência para pedido de compra e ficam a disposição para compra pelo consumidor final. A numeração GTIN-13 é a identificação básica de todo item.
GTIN-8 (EAN/ UCC-8)	Aplicação em unidades de consumo muito pequenas. Numeração totalmente controlada pelas organizações GS1 (no Brasil: GS1 Brasil). Trata-se de uma exceção de aplicação, pois o uso geral pede numerações de 13 dígitos.
GTIN-14 (EAN/ UCC-14 ou ITF-14)	Aplicação freqüente em unidades logísticas, caixas, fardos, contêineres, contendo grupo de itens homogêneos. Os 14 dígitos podem constar no catálogo de vendas de um fornecedor e podem ser referência para pedido de compra. Todavia, não podem ser processados na frente de loja do varejo (<i>check-out</i>), mas são aproveitados em toda a movimentação da carga, até o recebimento e estoque do varejo. A numeração GTIN-14 identifica grupo de itens contidos em uma unidade logística, possibilita o cadastro da descrição dos itens contidos (que são idênticos) e a quantidade deles embalado na caixa ou fardo. Há alguns estabelecimentos comerciais americanos e canadenses que já aceitam numerações até 14 dígitos.
GTIN-12 (UPC-A)	Aplicação em itens exportados para os EUA e Canadá, até janeiro de 2005. Há alguns estabelecimentos comerciais americanos e canadenses que já aceitam numerações até 14 dígitos.

Fonte: Barbosa, 2011.

A Figura 25 apresenta algumas codificações correspondentes às estruturas citadas na tabela acima:

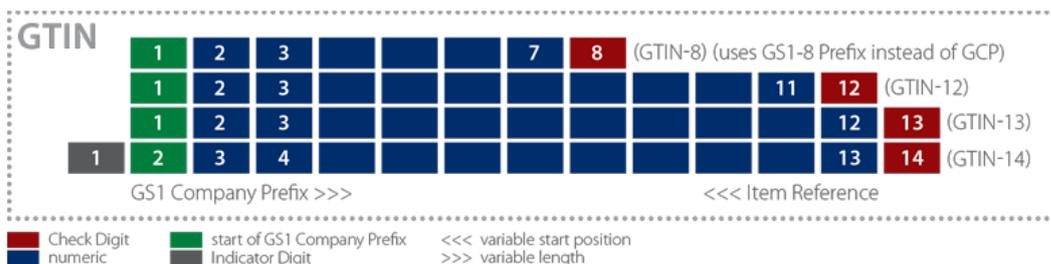


Figura 25: Estruturas de dados para cada família GTIN

Fonte: GS1 (2014)

A utilização de apenas uma destas estruturas como referência é a decisão oportuna para uma padronização eficiente. Naturalmente, a versão com 14 dígitos, devido a sua maior capacidade de codificação é a preferida (DOS SANTOS *apud* BARBOSA, 2011).

Fruto da extensão do GTIN, o conceito de Código Eletrônico de Produto foi desenvolvido com maior capacidade para compreender o armazenamento de um número de série exclusivo a cada item.

2.6.4.1. Padrões *RFID* (ISO e *EPCglobal*)

Em face das especificações ou dos requisitos atrelados aos produtos, serviços, sistemas e processos, a criação e a adoção de padrões oficiais podem impulsionar a adoção de novas tecnologias. E o sistema *RFID* não é uma exceção (NGAI *et al.*, 2008).

Com o viés mercadológico da tecnologia *RFID*, a padronização é importante porque incrementa a concorrência entre fornecedores, bem como permite a competição entre mercados internacionais. Sob o viés tecnológico, a padronização do *RFID* torna-se necessária para assegurar a interoperabilidade entre as arquiteturas de informação hospedadas pelos distintos membros da CS, bem como para viabilizar a transmissão de dados utilizando um formato previamente combinado (LÓPEZ, 2011).

Conforme Azambuja (2011), duas organizações estão mais envolvidas no desenvolvimento de padrões para tecnologia *RFID*, são elas: Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization – ISO*) e *EPCGlobal*.

A *EPCGlobal* possui como principais tarefas o controle de numeração de ID únicos para cada etiqueta ao redor do mundo (classe *EPC*), a criação de pa-

drões para a tecnologia (protocolos e frequência) e a promoção de pesquisas em RFID. A ISO é a maior organização do mundo em desenvolvimento e publicação de normas internacionais, atuando no desenvolvimento de padrões técnicos de RFID, tais como frequência de operação, protocolos de codificação e de anti-colisão. A série de normas ISO 18000 é o padrão ISO para RFID.

A Figura 26 está estruturada da seguinte maneira:

- A EPC Global descreve as seis classes da EPCGlobal.
- A coluna frequência apresenta as frequências de operação e as relaciona com cada padrão ISO, que aparecem na terceira coluna. O ISO 18000 define uma série de normas de interface aérea para identificação de itens por meio de RFID, operação em frequências distintas e, portanto, com funcionalidades também distintas. O padrão é atualmente composto por sete partes (LÓPEZ, 2011). A Classe 1 Gen2 da EPCGlobal trabalha na frequência UHF, e existe uma ligação entre estas duas linhas, relacionando a Classe 1 Gen2 com a frequência UHF. Esta por sua vez é dividida em três padrões pela ISO: ISO 18000-6A e 18000-6B (que não se relacionam com nenhuma Classe EPC), e a ISO 18000-6C, esta sim relacionada com a Classe 1 Gen2 da EPCGlobal. A Classe 1 Gen2v2 da EPC Global também trabalha na frequência UHF. Atualmente, um grupo de trabalho da ISO está revisando as normas referentes à Classe 1 Gen2, bem como deverá incluir o Gen2v2 no ISO 18000-63 ainda em 2014 (RFID JOURNAL, 2013f).
- A coluna Protocolo Anti-Colisão responde as seguintes perguntas: quem está controlando o respectivo protocolo (*tag* ou equipamento interrogador)? Qual o tipo de multiplexação e o algoritmo anti-colisão utilizado nas três classificações ISO 18000-6?
- A coluna codificação descreve se determinado algoritmo anti-colisão utiliza *PIE* (*Pulse-Interval Encoding*) ou Manchester como codificação dos sinais digitais provenientes dos sinais de radiofrequência.

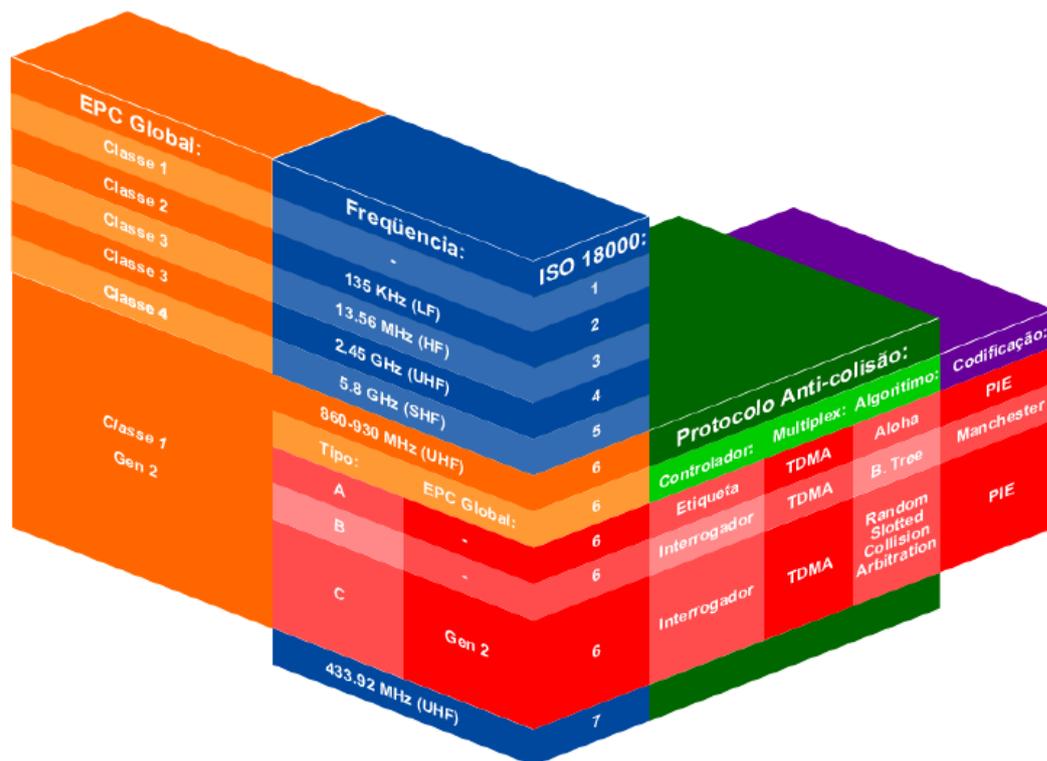


Figura 26: Classes EPC Global versus tecnologias de RFID
Fonte: Azambuja, 2011.

Embora não haja referência na figura acima, López (2011) demonstra outros tipos de normas ISO atuando na transferência de informação sensorial e outros dados, apoiados por comandos próprios de aplicação, que é o escopo da ISO 15961-4. Algumas das funcionalidades esperadas dos comandos de aplicações são acessos aos dados do sensor e aos dados da bateria, o iniciar / parar as operações de sensores, assistência bateria e o conjunto de parâmetros do sensor, antes e durante a operação.

No Brasil, cabe à GS1 Brasil disseminar os padrões EPC, visando à melhoria das cadeias de suprimentos, colaborando, assim, para o processo de automação, desde a matéria-prima até o consumidor final (GS1 BRASIL, 2014).

López (2011) afirma que a plataforma de apoio a padronização de sensores serão os principais padrões RFID ISO, bem como o IEEE e o ISO envidarão esforços visando à integração. Espera-se também que outros órgãos normatizadores, como a GS1/EPCglobal alocarão recursos para aumentar as atuais funcionalidades do RFID.

Quental Jr. *apud* Barbosa (2011) afirmam que por meio do EPC e a internet, a rede EPCglobal é um meio padronizado de utilizar a tecnologia de RFID na

cadeia logística para coletar grandes quantidades de informação associada ao produto que pode ser compartilhada entre os membros credenciados. Esta rede sugere que o máximo de processamento seja delegado aos níveis mais baixos da arquitetura (processamento nas pontas) e ao mesmo tempo manter as regras de negócio nas camadas mais altas da arquitetura (*middleware* e sistemas que processam as informações vindas deste).

Bendavid e Cassivi (2010) elencam os principais aspectos aplicados na utilização de RFID dentro de um rede EPCGlobal:

- *Tags* e leitores RFID (infraestrutura RFID).
- Plataforma eletrônica de transmissão de dados: EPCIS *middleware*.
- Plataforma eletrônica para troca de dados (ONS para direcionar entradas EPC e saídas URL, credenciamento de usuários e autenticação para acesso).
- Dados padronizados associados a itens individuais (EPC), padrões de interface de captura de dados EPC, especificações de interfaces padronizadas e apropriadas para troca de dados entre membros das cadeia de suprimentos.

A utilização coordenada de tais componentes possibilita a coleta, o processamento e o compartilhamento da informação em toda rede EPCglobal. Os *tags* contêm o código EPC que individualiza um item de forma inequívoca dentro da cadeia de suprimentos, podendo armazenar dados técnicos, fabricante original, entre outros. O posicionamento estratégico de leitores fará com que as etiquetas sejam lidas no instante em que elas adentrarem o campo de leitura, registrando o código EPC, o instante e o lugar onde foram detectados.

Ato contínuo, o *middleware* recebe os dados e os processa e integra toda esta informação (CARDIEL *et al.*, 2012; FOSSO WAMBA, 2012). Em seguida, a internet disseminará as informações entre os membros credenciados. Neste instante, serviços como o *Object Naming Service* - ONS são usados para que parceiros autorizados tenham toda a informação relativa ao EPC ao seu alcance. No *EPC Information Services* - EPCIS toda a informação relativa à etiqueta é processada e armazenada. Pode-se notar que o resultado é uma rede de informação que possibilita o rastreamento de itens individualmente pela cadeia de suprimentos (BEN-

DAVID e CASSIVI, 2010; MUSA *et al.*, 2014). A Figura 27 representa padrões de interfaces de uma rede EPC:

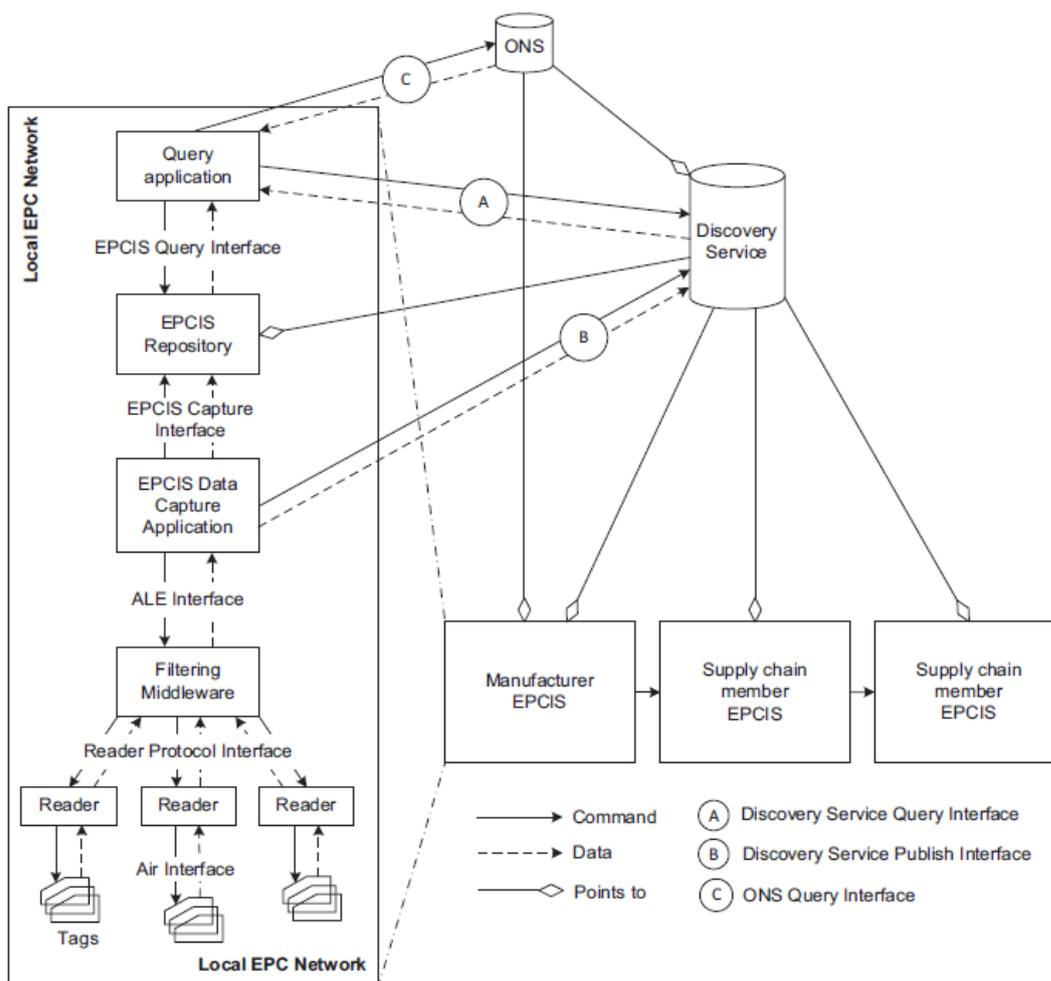


Figura 27: Interface padrão de uma rede EPC
Fonte: Musa et al., 2014.

Quental Jr. apud Barbosa (2011) destrinçam alguns benefícios auferidos, conforme sistemática acima:

- A criação de um número único que identifica um item, podendo ser tratada a informação relativa a cada item movimentado na cadeia.
- A facilidade para a identificação de itens, em grandes quantidades e com pouco tempo de leitura, na passagem pelos pontos de leitura.
- Uma rede de informação que possibilita registrar e transmitir a informação de itens ao longo da cadeia.

2.6.4.2. EPC – Código Eletrônico de Produto

O Auto-ID Center extinto centro de excelência do Instituto Tecnológico de Massachussetts – (MIT) desenvolveu o EPC como um simples número serial de identificação de um objeto, o qual iria complementar o sistema de código de barras convencional, conhecido como Código Único do Produto (UPC).

No entanto, além das capacidades de identificar o fabricante e a categoria do produto, o EPC identifica cada item individualmente (GS1, 2007). Essa característica do código EPC, de individualizar a identificação do produto, é considerada como uma fundamental diferença entre os códigos EPC e UPC.

O EPC é um código reconhecido internacionalmente que identifica de forma única quaisquer itens ao longo de uma CS, possuindo vários tamanhos: 32, 64, 96, 128 e 256 bits. O mais utilizado possui 96 bits e possui escopo de identificação muito maior do que o sistema de código de barras (LEME, 2009; OLIVEIRA *et al.* apud BARBOSA, 2011).

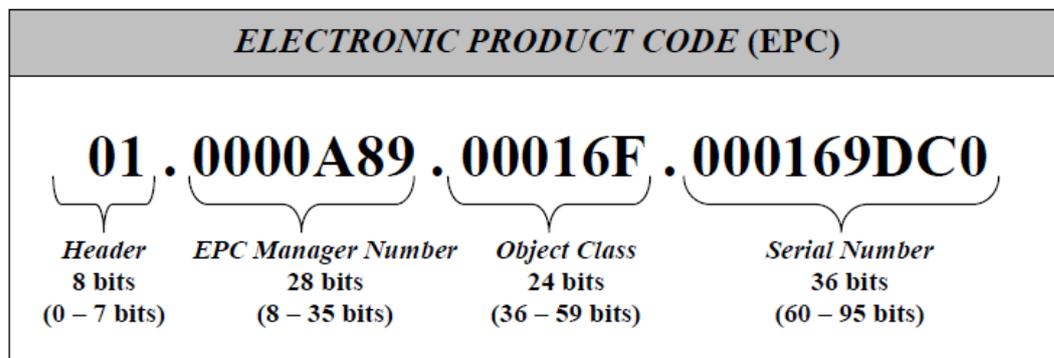


Figura 28: Estrutura básica de um EPC.
Fonte: Leme, 2009.

O cabeçalho ou *header*, para o qual estão alocados 8 bits, identifica a versão do EPC. A segunda parte, com 28 bits, identifica o administrador do EPC, fabricante do produto ao qual o EPC está associado e também é conhecida como *EPC Manager Number*. A terceira parte, com 24 bits, é chamada de classe do objeto ou *Object Class*, a qual se refere ao exato tipo de produto ou categoria deste. A quarta parte, com 36 bits, é o número serial ou *serial number*, identificador único de um item específico.

O código EPC foi concebido para ser suficientemente grande, sendo capaz de enumerar todos os objetos, acomodar todos os atuais e futuro métodos de no-

meação ou identificação requeridos pela indústria de padrões de codificação, tal como GS1.

O código EPC é definido como um esquema para identificação unicamente de um item físico através das etiquetas RFID. A padronização da codificação do EPC da etiqueta é definida pela criação de um código que identificará de forma única um item específico.

O termo “Gen 2” vem sendo usado atualmente com muita frequência. O Gen 2 é uma abreviação para “Classe 1 Geração 2” sendo uma nova geração de protocolos para *tags* Classe 1 UHF. O “EPC Classe 1 Gen 2” é uma nova especificação para etiquetas que apresentam melhorias sobre as gerações de etiquetas anteriores. Estas melhorias estão relacionadas ao protocolo de comunicação, ao uso de algoritmos anti-colisão, a formatação dos dados, além do maior espaço de memória (OLIVEIRA *et al.* *apud* BARBOSA, 2011).

Mais recentemente, o GS1 ratificou a utilização de EPC Gen2v2 para *tags* UHF, ou seja, Classe 1 Geração 2 em sua 2ª versão. Enquanto a Gen2 já auferia benefícios como único padrão universal, simplificando a visibilidade, aumentando as taxas de leitura e o próprio desempenho da etiqueta, os membros do EPC e parceiros da indústria continuavam a pesquisar maneiras para incrementar a versatilidade do Gen2. Fruto de pesquisas, surgiu o Gen2v2 que permite ao *tag* autenticar um leitor por criptografia, proporcionando acesso restrito a dispositivos previamente credenciados.

Ademais, os leitores também poderão autenticar produtos específicos, criando uma defesa contra pirataria de produtos e clonagem de etiquetas, bem como afiançando a segurança de dados nas etiquetas contra alterações não autorizadas. Tais características de privacidade e segurança proporcionarão ao Gen2v2 franca adoção por parte de setores como Defesa, indústria aeroespacial, indústria farmacêutica, entre outras (RFID JOURNAL, 2013f).

2.6.5. Protocolo Anti-colisão

Glover e Bhatt *apud* Félix (2009) definem protocolo como um conjunto de regras formais que definem como transmitir dados através de uma rede.

Um conjunto de procedimentos que garantem com que os *tags* não interrompam a comunicação um dos outros é chamado de protocolo anti-colisão. Con-

forme Figueroa *et al. apud* Barbosa (2011), anti-colisão é uma forma de controlar o tempo com que os *tags* respondem e encontrar maneiras de permitir que um leitor identifique uma etiqueta no meio da resposta de várias outras ao mesmo tempo.

Qualquer forma de comunicação deverá atentar para três aspectos previamente: controle de acesso ao meio de comunicação; estrutura e significado dos dados a serem transmitidos; e codificação e modulação dos dados em sinais transmitidos (DOBKIN e WANDINGER *apud* FÉLIX, 2009).

É importante notar a capacidade de armazenamentos dos *microchips* já delineados neste trabalho (LAHIRI *apud* FÉLIX, 2009). Ao passo que a codificação e a modulação dos dados transmitidos variam em função do tipo de frequência empregada. Conforme Félix (2009), em sistemas LF as etiquetas utilizam o Chaveamento de Alteração de Frequência – (FSK), para transmitir sinais para as etiquetas, em sistemas HF utilizam a modulação Miller de amplitude e em sistemas UHF utilizam o FSK operando com etiquetas passivas.

As colisões podem ocorrer em situações nas quais várias etiquetas tentam se comunicar com um leitor em uma determinada zona de interrogação (ZI). Considerasse que o controle de acesso ao meio de comunicação poderá ser conduzido pelos seguintes algoritmos anti-colisão:

- *Adaptive Binary Tree* ou Protocolo Árvore Binária: é um protocolo determinístico que trabalha “indagando” pelos bits no ID das etiquetas e apenas as etiquetas cujos bits são casados “respondem” (OLIVEIRA *et al. apud* BARBOSA, 2011; GLOVER e BHATT *apud* FÉLIX, 2009). Utilizando uma construção de árvore binária, o protocolo inicia perguntando pelo primeiro bit do ID da etiqueta. Ao obter resposta de alguma etiqueta, pergunta pelo segundo bit. Logo, o protocolo persiste perguntando até encontrar todas as etiquetas existentes na Zona de Interrogação (ZI). Esse tipo de protocolo é lento, mas preciso para encontrar as etiquetas na ZI; e
- *Slotted ALOHA* é um protocolo probabilístico e assim sendo as etiquetas respondem em tempos aleatórios. Deriva do procedimento conhecido como ALOHA, onde os tags começam a transmitir suas identidades (IDs) ao se energizarem pelo leitor. Ao ocorrer uma colisão, as etiquetas aguardam um novo intervalo de tempo para responderem novamente. Este protocolo identifica todas as etiquetas na ZI e está sujeito à colisão, se possibilitar

que as etiquetas escolham um tempo de resposta muito próximo um do outro. Sendo assim, este procedimento logrará bons resultados em face de números pequenos de tags (OLIVEIRA *et al.*, apud BARBOSA, 2011). Ademais, o Slotted ALOHA possui desempenho melhor ao incluir o conceito de isolamento que requer das etiquetas a transmissão apenas no início de um determinado período, diminuindo a chance de colisão (FÉLIX, 2009).

2.6.6. Vantagens dos sistemas RFID

Os sistemas RFID possuem uma gama de vantagens tangíveis e mensuráveis quando comparados com outras tecnologias (LIM, BAHR e LEUNG, 2013; MINGXIU, CHUNCHANG e MINGGEN, 2012) e utilizados ao longo da cadeia de suprimentos. São notórias as seguintes vantagens:

- Captação de ondas à distância (MINGXIU *et al.*, 2012).
- Identificação sem contato nem visão direta do produto (CHENG e PRABHU, 2013; CONORADO, 2009; MINGXIU *et al.*, 2012; MUSA *et al.*, 2014; PIRAMUTHU *et al.*, 2014; SILVA, 2010), que possibilita a codificação em ambientes hostis (MINGXIU *et al.*, 2012; RFID JOURNAL, 2013c).
- Capacidade de armazenamento, leitura, gravação e envio dos dados para etiquetas ativas (CONORADO, 2007; SILVA, 2010).
- Possibilidade de leitura de grandes volumes de materiais de forma simultânea (CHEN *et al.*, 2013; PIRAMUTHU *et al.*, 2014; SARAC *et al.*, 2010; ZHU *et al.*, 2012).
- A detecção sem necessidade da proximidade da leitora para o reconhecimento dos dados, reduzindo, consideravelmente, o manuseio do material e o tempo de inspeção (MINGXIU *et al.*, 2012; PIRAMUTHU *et al.*, 2014; ZHU *et al.*, 2012). Os custos de trabalho manual de um CD podem ser reduzidos de 36% com a utilização de RFID (LEME, 2009).
- Rapidez, precisão e confiança na transmissão de dados (MEHRJEDI, 2009; MINGXIU *et al.*, 2012; SARAC *et al.*, 2010; SILVA, 2010; ZHU *et al.*, 2012).

- A durabilidade das etiquetas com possibilidade de reutilização (MINGXIU *et al.*, 2012).
- Maior grau de agilidade, flexibilidade e automação (CONDEA *et al.*, 2012; ILIE-ZUDOR *et al.*, 2011; MEHRJEDI, 2009; MINGXIU *et al.*, 2012; SARAC *et al.*, 2010).
- Disponibilidade de informação em tempo real (SARAC *et al.*, 2010);
- Pequena distância máxima entre portador de dados e leitor (SILVA, 2010).
- Melhorar a eficiência de entrega de pedidos (CONDEA *et al.*, 2012; FÉLIX, 2009; ILIE-ZUDOR *et al.*, 2011; MINGXIU *et al.*, 2012).

2.7.

Comentários e conclusões do capítulo

Ao longo do presente capítulo foram evidenciadas proposições teóricas e operacionais para o desenvolvimento deste trabalho sob três principais vetores, a saber: a logística e o SCM; a TI como fator crítico de sucesso do SCM; e a tecnologia RFID.

Para o entendimento da estrutura atual da cadeia de suprimentos de sobressalentes da MB, bem como para subsidiar potenciais evoluções rumo ao incremento da eficiência, fez-se necessária à exposição de conceitos modernos de logística e SCM, gestão de armazenagem, políticas de modelos de estoque, especialmente ao se delinear aspectos da cadeia de suprimento de sobressalentes, atingindo assim, parte dos objetivos gerais deste trabalho que diz respeito ao incremento da eficiência na estrutura logística da cadeia de suprimentos de sobressalentes a bordo das Fragatas Classe Niterói.

A participação da TI na estratégia do SCM como fator crítico de sucesso referenda a oportunidade de transformação dos atuais processos logísticos da CSS rumo à guerra contra a ineficiência em toda a cadeia, conservada a compatibilidade atual dos sistemas da MB.

Com vistas a edificar o arcabouço de requisitos técnicos sobre a TI almejada no modelo futuro para a avaliação de sua viabilidade, que são previstos dentre os objetivos específicos, demonstrou-se os componentes do sistema RFID presentes na literatura especializada, tais quais: antenas, etiquetas, leitores, *middle-*

ware, padrões RFID, regulamentação RFID, padronização da estrutura de dados e o protocolo anti-colisão.

Finalmente, também parte dos objetivos gerais, por meio de trabalhos publicados em periódicos internacionalmente renomados, discorreu-se sobre as vantagens da tecnologia RFID para toda a cadeia de abastecimento, as quais corroboraram a RFID como a tecnologia correta para a aplicação proposta neste trabalho, em razão da análise de sua viabilidade.