

## **Projeto de Cadeia de Suprimentos e Alinhamento Dinâmico: Proposta de um Quadro Conceitual sobre Potenciais *Trade-Offs* de Sustentabilidade Ambiental.**

Luis Antonio Santa-Eulalia <luisase@gmail.com>

Juliano Bezerra de Araújo <juliano.araujo@axiavaluechain.com>

Luis Augusto Franciosi <luis.augusto@axiavaluechain.com>

Rodrigo Cambiaghi Azevedo <rodrigo.cambiaghi@axiavaluechain.com>

Carlos Frederico Bremer <carlos.bremer@axiaconsulting.com.br>

*Resumo: Recentes estudos em gestão da cadeia de suprimentos sugerem que as empresas devem gerenciar dinamicamente diferentes tipos de cadeias de suprimentos a fim de responder adequadamente a diversos tipos de comportamento de compra dos clientes. Nesse contexto, alguns autores propõem que diferentes categorias de cadeia de suprimentos existem, as quais possuem exigências diferentes em termos da estrutura de projeto de rede logística. Algumas cadeias requerem redes mais ágeis, adaptáveis e distribuídas, enquanto outros tipos de cadeia necessitam de uma estrutura basicamente estável e centralizada. Além disso, com a emergência recente de paradigmas verdes de administração, o projeto e a gestão dessas diferentes categorias de cadeias de suprimentos devem levar em conta várias questões ambientais relacionadas, por exemplo, à utilização de energia, emissões de gases de efeito estufa, consumo de materiais e geração de resíduos. Este presente trabalho visa discutir como diferentes tipos de cadeia de suprimentos, servindo diferentes perfis de clientes, conseguem gerenciar diversos trade-offs relacionados ao projeto de redes buscando atender a diversos requisitos relacionados à gestão verde de cadeia de suprimentos. Para tanto, esse trabalho propõe e discute um quadro conceitual combinando estes conceitos, e levantando diversas hipóteses que serão testadas futuramente por meio de simulação e estudos de casos. Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos Verde; Alinhamento Dinâmico de Cadeia de Suprimentos; Projeto de Redes Logísticas.*

### **Supply Chain Design and Dynamic Alignment: a Conceptual Framework concerning Potential Environmental Trade-Offs.**

*Abstract: New developments in supply chain management bring attention to the fact that companies need to dynamically manage different supply chains together in order to properly respond to divergent customers' buying behavior. In order to do so, some authors propose that different types of supply chain exist. Each one of these supply chains has different requirements in terms of the structure of their network design. Some need a faster, more adaptive and distributed network of facilities, while others require a rather stable and centralized structure. Nowadays, with the emergence of the green supply chain management paradigm, when designing and realigning supply chains according to customers behaviors, one needs to consider several environmental issues related, for example, to energy use, greenhouse gas emissions, material consumption and waste generation. This paper investigates how different supply chain types serving different customers profiles can manage*

*several network design tradeoffs in order to properly answer some relevant green supply chain management requirements. In order to do so, a conceptual framework combining these three concepts is proposed and discussed. This framework will further serve as a guideline to design a set of simulation experiments and case studies for evaluating the raised hypotheses.*

*Keywords: green supply chain; dynamic supply chain alignment; supply chain network design.*

## **1. Introdução**

Recentes avanços na área de gestão da cadeia de suprimentos lançam a ideia de que diversos aspectos inconscientes ligados ao modelo de liderança, à cultura organizacional e ao comportamento dos *stakeholders* na cadeia de suprimentos são de fundamental importância na entrega de valores superiores aos clientes. Nesse sentido, ao cunhar o termo alinhamento dinâmico da cadeia de suprimentos, Gattorna (2006, 2009) sugere que é importante configurar (ou alinhar) as cadeias de suprimentos de forma a se conseguir gerar uma matriz de respostas alinhadas com os comportamentos de compra dominantes dos clientes. Isso se faz necessário porque os clientes são diferentes e possuem necessidades de valor diferentes, requerendo diferentes respostas por parte das cadeias que os servem.

As abordagens tradicionais definem apenas uma estratégia atendimento para todos os segmentos de clientes (conhecido como "*one size fits all*"), em vez de múltiplas possibilidades. No entanto, as empresas obtêm um desempenho superior ao primeiramente reconhecer essas diferenças, para em seguida alinhar a entrega de valor em conformidade com as mesmas (GATTORNA, 2006). Em termos práticos, este conceito implica na definição de diferentes estratégias de atendimento para cada grupo de consumidores, incluindo, por exemplo, diferentes níveis de intensidade de comunicação, abordagens colaborativas, preços, qualidade do produto, e assim por diante. Nesse sentido, Gattorna (2006) propõe que quatro tipos de cadeias genéricas existem para atender diferentes tipos de clientes: flexível, ágil, enxuta e de relacionamento.

No entanto, para se obter um bom alinhamento da proposta de valor desses tipos de cadeia de suprimentos, faz-se necessário repensar a cadeia como um todo. Os estudos tradicionais na área (COOPER *et al.*, 1997) mencionam que o projeto e a transformação de cadeias devem incluir uma discussão sobre três elementos: processos de negócio, componentes gerenciais e estrutura da rede logística. Por exemplo, com base em uma experiência prática e acadêmica, Bremer *et al.* (2009) propõem um modelo de alinhamento para as redes colaborativas cobrindo dois desses elementos: um modelo de referência de processos de negócios e um conjunto de componentes gerenciais incluindo princípios (por exemplo, organizacionais e tecnológicos) em uma metodologia de transformação completa.

Outros trabalhos interessantes e reconhecidos discutem diferentes processos de negócio ou componentes gerenciais, como Azevedo *et al.* (2008), SCOR (2006) e Lambert (2004). No entanto, tais trabalhos não consideram explicitamente os princípios de alinhamento dinâmico de cadeia de suprimentos, tal como preconizado por Gattorna (2006).

Em termos de design de rede (i.e. o terceiro elemento), vários trabalhos na literatura discutem como estruturar cadeias de suprimentos considerando-se decisões que envolvem a seleção de parceiros, a localização de plantas e armazéns, a definição de capacidade das instalações, a alocação de produtos às instalações e a seleção de modais de transporte, entre outros (KLIBI *et al.*, 2010; KETTANI 2008; LAKHAL *et al.*, 2001; etc.). Essas abordagens

normalmente empregam métodos analíticos e de simulação. Por exemplo, Kettani (2008) propõe uma metodologia de projeto de rede logística visando maximizar o valor econômico por meio de métodos de otimização encapsulados em uma solução chamada *Supply Chain Studio*®. Esta solução é capaz de lidar com grandes modelos de programação inteira mista (MIP) com custos côncavos para responder a perguntas relacionadas a, por exemplo, quantos centros de distribuição e instalações fabris a rede deve conter, onde eles devem ser localizados, quais tecnologias de armazenamento e de produção deverão ser adotadas, quanto de capacidade deve ser alocada a essas unidades, qual modelo de transporte deve ser empregado, e assim por diante.

Atualmente, estas três questões (processos de negócios, componentes gerenciais e projetos de rede logística) estão sendo discutidas de acordo com uma nova perspectiva emergente na área de negócios: a gestão sustentável da cadeia de suprimentos. Este conceito amplia o tradicional paradigma de gestão de cadeias, extrapolando a dimensão econômica dos objetivos de negócio para duas outras dimensões, a ambiental e a social, tanto do ponto de vista dos clientes, como dos *stakeholders* (SEURING e MULLER, 2008). Muitos trabalhos discutem como identificar melhores práticas e indicadores de desempenho para o negócio sustentável (por exemplo, HUTCHINS e SUTHERLAND *et al.*, 2008; WILKERSON, 2008).

Seuring e Muller (2008) demonstraram que este assunto vem ganhando atenção, mas é evidente que muitos esforços ainda são necessários para transformar esta abordagem em um conceito difundido e aceito.

O interesse deste presente trabalho é propor um modelo indicando de que forma o projeto de redes logísticas poderia levar em consideração aspectos de alinhamento dinâmico da cadeia a partir de uma perspectiva de gestão verde, i.e. ambientalmente consciente.

Acredita-se fortemente que essa seja uma importante lacuna na literatura acadêmica e profissional. Muitas perguntas ainda precisam ser respondidas, tais como: quais são os principais *trade-offs* entre os requisitos verdes, os diferentes tipos de cadeia de suprimentos e as topologias de rede logística? Que tipo de cadeia parece ser mais eficiente em termos ambientais e econômicos? Esses são apenas alguns exemplos de questões relevantes na área.

Visando tratar algumas dessas questões, o presente trabalho visa levantar algumas hipóteses e fornecer alguns *insights* iniciais em relação à primeira pergunta. Para tanto, propõe-se um novo modelo conceitual combinando elementos de gestão verde de cadeia de suprimentos, alinhamento dinâmico e projeto de redes logísticas. Esse é um primeiro passo na direção de um modelo completo visando tratar a complexidade dessa problemática contemporânea.

Sendo assim, esse trabalho está dividido em quatro partes. A seção 2 resume as bases teóricas da discussão central, a qual será apresentada na seção 3. Na seção 4 discute-se como esses conceitos estão sendo testados na prática e em laboratório. Finalmente, a seção 5 apresenta alguns comentários finais e conclusões.

## **2.1 Fundamentação Teórica**

### **2.1 Alinhamento Dinâmico de Cadeias de Suprimentos**

Segundo Gattorna (2006, 2009) as empresas de sucesso são aquelas cuja estratégia, traduzida em uma proposta de valor, está alinhada com o perfil de compras do cliente. Este alinhamento ocorre à medida que o estilo de liderança e as capacidades internas (cultura organizacional) satisfaçam, por segmentos de clientes, os diferentes atributos valorizados

pelos clientes. O modelo deve alinhar os processos de negócio e a infra-estrutura tecnológica para garantir formatos distintos de operação, e endereçar as necessidades do ambiente competitivo cada vez mais diferenciado.

A inovação proposta pelo modelo de Gattorna (2006, 2009) reside no conceito de que diferentes cadeias de suprimentos poderão ser configuradas de acordo com o grupo de cliente servido, cada qual sendo atendido pela forma que mais valoriza. Sendo assim, influenciado pelos estudos do psicanalista Carl Gustav Jung, Gattorna (2006, 2009) sugere, para tanto, a segmentação dos clientes segundo seus comportamentos de compra, os quais possui quatro tipos genéricos: Empreendedores, Produtores, Administradores e Integradores. Para cada segmento de cliente deve estar associado um tipo de cadeia de valor, que é mais adequado para a entrega do valor proposto. Os tipos genéricos de cadeias e suas respectivas propostas de valor são descritos na Figura 1. Essa figura também resume os principais conceitos de Gattorna (2006, 2009) empregados nesse presente trabalho.

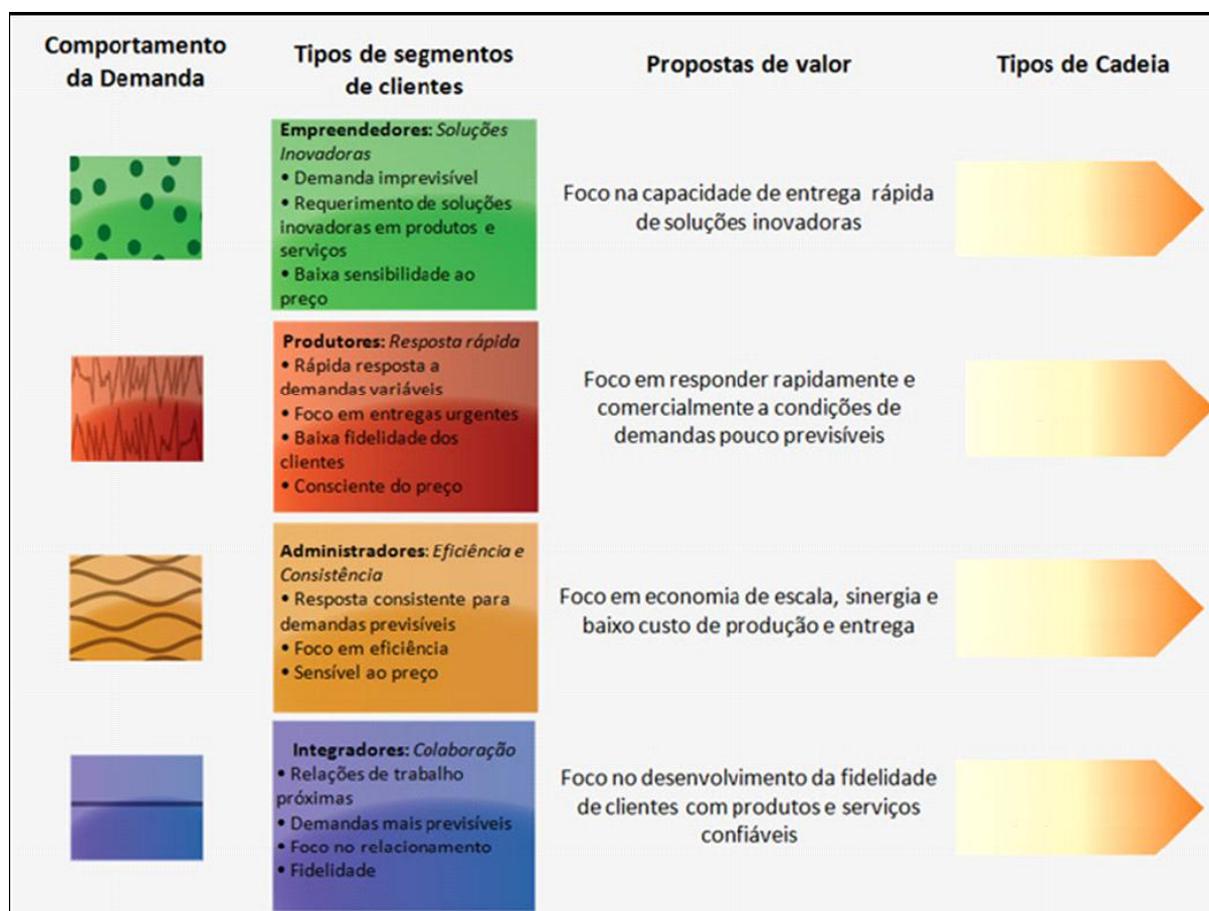


Figura 1 – Os quatro tipos genéricos de cadeias de suprimentos, de acordo com Gattorna (2009)

Basicamente, os quatro tipos de cadeias possuem as seguintes características: i) cadeias de relacionamento: onde as relações são mais importantes; ii) cadeias enxutas: onde o foco está na eficiência e menor custo para servir; iii) cadeias ágeis: sempre que a resposta ágil é fundamental; iv) cadeias flexíveis: onde nada é impossível. Mais do que a descrição de estratégias distintas de atendimento ao cliente, o modelo propõe uma importante inovação: que diferentes cadeias podem fluir dentro de uma mesma empresa. Para maiores informações sobre tal modelo, favor consultar Gattorna (2006, 2009).

Esse modelo traz novos *insights* de como projetar cadeias, tal como discutido a seguir.

## **2.2 Projeto de Cadeias de Suprimentos**

O fenômeno da globalização e a crescente complexidade dos processos de negócio muito contribuíram para a emergência da disciplina de projeto de cadeias de suprimentos. Ao desenhar e redesenhar as cadeias (ou redes), as empresas são capazes de reduzir custos e *leadtimes* de entrega dramaticamente, visando se estabelecer em mercados atuais e novos, executando planos de investimento de longo prazo, bem como estabelecer parcerias sólidas com clientes e fornecedores.

A literatura apresenta muitos trabalhos interessantes na área. Alguns se concentram apenas em redes de distribuição (por exemplo, SYARIF *et al.*, 2002), focando em prazos de entrega, localização das instalações de distribuição e escolha de modal de transporte. Outros trabalhos também incluem instalações de fabricação e rede de abastecimento (por exemplo, LAKHAL *et al.*, 2001). O presente artigo foca basicamente na rede de fábricas.

Ao projetar e reestruturar a rede de suprimentos, as empresas hoje em dia levam em conta critérios não tradicionais ligados à ecologia e sociedade, tal como preconizado pelo paradigma de gestão verde de cadeias de suprimentos.

## **2.3 Gestão Verde de Cadeias de Suprimentos**

A gestão sustentável de cadeias de suprimentos refere-se às ações específicas de gestão que são tomadas com o objetivo de tornar a cadeia de suprimentos mais sustentável, como proposto pelo modelo *triple bottom line*. Para tanto, o fluxo de materiais, financeiros e de informações deve ser questionado não somente segundo a ótica de valor econômico, mas sim levando-se em conta valores ambientais e sociais (PAGELL e ZHAOHUI, 2009; SEURING e MÜLLER, 2008; SVENSSON, 2007; ELKINGTON, 1998).

Seuring e Müller (2008) colocam a responsabilidade de projetar cadeias de suprimentos sustentáveis nas mãos de empresas conhecidas como "líderes de negócios", i.e. as empresas que normalmente direcionam ou gerenciam a cadeia de abastecimento, que podem ou não ter contato direto com os consumidores (e.g. as montadoras em cadeias automotivas).

Um dos principais desafios nessa área está relacionado à capacidade de levar em conta uma vasta gama de assuntos em toda a cadeia de valor visando favorecer o pensamento inovador de todos os envolvidos. Esta é considerada a principal barreira para a implementação de práticas sustentáveis em cadeias de suprimentos. Buscando estimular o pensamento inovador na área, a subseção seguinte discute como a reconfiguração de cadeias de suprimentos pode contribuir nesse contexto, de acordo com a perspectiva de design de cadeias múltiplas e de alinhamento dinâmico de Gattorna (2006).

## **3. Projeto Verde de Cadeias de Suprimentos e Alinhamento Dinâmico**

Antes de discutir esses três elementos conjuntamente (alinhamento dinâmico, projeto de cadeias de suprimentos e aspectos de gestão verde), será realizada uma análise de dois elementos por vez. Primeiramente, analisa-se como alguns aspectos relevantes sobre o projeto de redes de suprimentos podem estar relacionados a questões ambientais.

### **3.1 Projetos de Cadeias de Suprimentos e Gestão Verde**

As principais questões que afetam o desenho da rede logística são amplamente discutidas na literatura. O presente trabalho utiliza como pano de fundo os critérios gerais levantados por Baglin *et al.* (2007), os quais são: integração da cadeia de suprimentos, terceirização, economias de escala e tecnologia. Além disso, adiciona-se ao debate a utilização da capacidade instalada, o que será discutido logo a seguir.

Primeiramente, a integração da cadeia de suprimentos refere-se essencialmente à integração vertical. Uma empresa é considerada verticalmente integrada quando possui e gere sozinho todos os diferentes aspectos da fabricação de um produto, a partir da matéria-prima, até a distribuição do produto final. Neste caso, uma empresa verticalizada controla todas as partes do negócio. Por outro lado, as empresas menos verticalizadas preferem fazer uso das estratégias de terceirização e *outsourcing* estratégico (PIRES *et al.*, 1998) com fornecedores através da transferência de algumas funções não relacionadas com a competência principal da empresa. Tal abordagem permite às empresas se concentrarem em suas forças principais e ter, ao mesmo tempo, acesso a parceiros especializados. Este grau de integração varia de acordo com o continuum integração vertical – *outsourcing* e de diversos níveis de verticalização existem (Figura 2a).

Em termos de fornecimento, as empresas podem ser abastecidas a partir de fornecedores locais ou globais. Fornecedores locais estão localizados próximo às instalações, enquanto os globais são normalmente encontrados no exterior. Fornecedores locais permitem uma estratégia de aquisição mais ágil e flexível, enquanto que os globais são mais custoeficientes e menos flexíveis em relação à estratégia de aquisição. Neste caso, o *pool* de fornecedores pode ser definido de acordo com o continuum local – global (Figura 2a).

Quanto ao terceiro critério, ou seja, economias de escala, as empresas podem concentrar todas as suas atividades em uma ou algumas poucas grandes instalações para a obtenção de economias de escala e de reduções de custos marginais. Por outro lado, pequenas instalações de produção podem ser criadas e espalhadas por todo o mercado, ficando assim mais perto dos clientes. De forma similar ao critério anterior, vários graus de economias de escala existem no interior do continuum centralizado – distribuído da Figura 2a.

O quarto critério diz respeito à tecnologia, o qual é definido entre os casos extremos de tecnologia especializada (ou exclusiva) e tecnologia polivalente. Facilidades exclusivas ou especializadas tendem a ser mais eficientes, mas são menos flexíveis. Tecnologias polivalentes, por outro lado, tendem a ser flexíveis, mas menos eficientes.

Finalmente, o último critério refere-se à utilização da capacidade, que varia no continuum capacidade plena – capacidade ociosa (Figura 2a). Neste caso, ao funcionar com plena capacidade a empresa tenta melhor ocupar todos os seus recursos, o que pode limitar a habilidade em absorver possíveis variações de demanda. O uso de capacidade ociosa é uma estratégia conhecida para permitir absorção de eventuais variações não previstas de demanda, mas elas normalmente incorrem em custos adicionais e em menor eficiência operacional.

Esses critérios podem ser entendidos a partir do ponto de vista ambiental. Diversos autores (*e.g.* ARAÚJO e OLIVEIRA, 2008) defendem que alguns dos aspectos mais importantes para se avaliar o quanto uma cadeia de suprimentos é verde estão relacionados, por exemplo, às emissões de gás de efeito estufa - GEE (*e.g.* CO<sub>2</sub>), o uso de materiais (*e.g.* matérias-primas), o consumo de energia, a geração de resíduos e a conservação da biodiversidade. Apesar da relevância do conceito de biodiversidade, optou-se nesse trabalho por não incluí-la no modelo devido à dificuldade de generalizá-la, sendo necessário discuti-la numa base individual, pois esse aspecto depende das regiões onde as instalações serão colocadas. Além disso, as emissões de GEE e o consumo de energia estão intimamente relacionados (STOKES, 2009), assim eles serão considerados em conjunto nesse trabalho.

Consequentemente três aspectos ambientais são considerados: Energia/GEE, consumo de materiais e geração de resíduos. Estes aspectos são usados para construir três indicadores

de performance (KPI - *Key Performance Indicators*) que oferecem uma dimensão relativa da cadeia, conforme formulado em (1):

$$KPI_i = \frac{(Aspecto\ Verde_i)}{\Sigma(Valor\ Agregado)} \quad (1)$$

Sendo:

- $i \in \{Energia/GEE, materiais, resíduos\}$ ;
- *Valor Agregado* = contribuição dos fatores de produção, por exemplo, terra, trabalho e bens de capital, no aumento do valor dos produtos e serviços gerados;
- *Aspecto Verde*  $\in \{consumo/emissões\ de\ Energia/GEE, ou\ consumo\ de\ materiais, ou\ geração\ de\ resíduos\}$ ;

A dimensão relativa permite uma análise mais justa, pois a mesma base é utilizada quando se compara um tipo de cadeia de suprimentos com outra (i.e. o valor que está sendo adicionado ao longo da cadeia de suprimentos).

A Figura 2b propõe comparar os cinco critérios de projeto de rede anteriormente discutidos a partir de um ponto de vista ambiental relativo. Na Figura 2b o sinal (+) significa que o aspecto avaliado tem um impacto positivo sobre o critério selecionado. Por exemplo, práticas de *outsourcing* estratégico tendem a ter um impacto positivo sobre o consumo de energia e as emissões de GEE desde que parceiros mais especializados e eficientes sejam selecionados. Ao contrário, o sinal (-) indica que o aspecto possui um impacto negativo. Por exemplo, empresas altamente verticalizadas que gerem tudo, desde a origem das matérias primas até o consumo final, tendem a ser menos eficientes em termos de consumo de energia e de emissões de GEE. A principal razão está relacionada ao fato de que as empresas que se concentram em suas competências essenciais tendem a ter processos de negócios e recursos mais eficientes. Como a eficiência está intimamente relacionada ao consumo de energia e às emissões de gases, levanta-se a hipótese esquematizada na Figura 2b. Note-se que neste caso, não se discute se o processo de *outsourcing* exigirá mais transporte ou não, sendo que este aspecto é abordado pelo critério “fornecimento”.

	KPI				KPI		
	Energia/GEE	Materiais	Resíduos		Energia/GEE	Materiais	Resíduos
Integração				Outsourcing ↔ Vertical	(-)	(-)	(-)
Fornecimento	(+)			Local ↔ Global	(-)		
Economias de escala		(+)	(+)	Centralizado ↔ Distribuído		(-)	(-)
Tecnologia	(+)	(+)	(+)	Especializado ↔ Polivalente	(-)	(-)	(-)
Capacidade	(+)			Plena ↔ Ociosa	(-)		

a) Critérios de projeto de rede estudados

b) Alguns *trade-offs* verdes

Figura 2 – Projeto de rede de cadeia de suprimentos e alguns *trade-offs* verdes

Com relação ao fornecimento, argumenta-se que as abordagens “locais” favorecem o uso menor de transporte, uma vez que os fornecedores estão mais próximos, reduzindo assim o consumo de energia e emissões de GEE. Não se pode formular a mesma hipótese no que

tange ao consumo de materiais e geração de resíduos, uma vez que não foi possível identificar correlações diretas entre os mesmos. Isto é devido ao fato de que uma das razões mais comuns para se praticar o *global sourcing* é reduzir os custos através da utilização dos chamados *Low Cost Countries*, o que não implica necessariamente uma maior eficiência do processo.

O terceiro critério, ou seja, economias de escala, é conhecido por ser fortemente correlacionado com a eficiência do processo. A partir disso, sugere-se que as instalações maiores tendam a proporcionar um desempenho superior em termos de consumo de materiais e desperdício. Em contraste, as redes altamente distribuídas tendem a ter processos de fabricação menos eficientes (se comparado com uma grande unidade que possui elevada economia de escala), conseqüentemente gerando mais impactos ambientais para estes dois aspectos. Quanto à Energia/GEE, acredita-se que este seja um critério que necessita ser discutido numa base individual, dado que o mesmo pode induzir um importante *trade-off*, considerando a eficiência de processos fabris e de transporte. Assim, este critério não pôde ser generalizado de forma adequada.

O quarto critério está relacionado à tecnologia, que pode ser especializada ou polivalente. A especialização também está fortemente associada com eficiência, sendo assim pode-se crer que instalações especializadas tendem a gerar menos resíduos, consumir relativamente menos materiais por valor agregado, e são mais eficientes em termos de Energia/GEE que tecnologias polivalentes. No entanto, estruturas especializadas normalmente não permitem rápidas reações às variações de mercado.

Finalmente, o *framework* da Figura 2b levanta a hipótese de que a utilização da capacidade também pode ter um impacto ambiental a partir da perspectiva do design da rede. Ao se gerenciar melhor a capacidade da cadeia, ou seja, favorecendo a sua utilização máxima, pode-se supor que menos energia será consumida por valor agregado, bem como emite-se menos GEE quando comparado à cadeias com excesso de capacidade ociosa, pois é comum existir consumo/emissões de fundo em equipamentos em *standby*. Como será discutido na próxima subseção, o problema com este critério é que a capacidade ociosa, por vezes, precisa ser considerada em alguns tipos de cadeia de suprimentos visando obter flexibilidade superior da cadeia. Quanto aos dois outros aspectos (materiais e resíduos), acredita-se que eles são muito mais relacionados às taxas de produção e não à estrutura da rede.

A subseção seguinte discute como estes parâmetros de projeto de rede podem ser entendidos a partir da perspectiva de alinhamento dinâmico.

### **3.2 Alinhamento Dinâmico e Projetos de Cadeias de Suprimentos**

Esta seção reúne os cinco critérios de projeto de rede (Subseção 3.1) com a noção de alinhamento dinâmico da cadeia de suprimentos discutido anteriormente na Subseção 2.1. A Figura 3a resume a idéia básica dessa discussão.

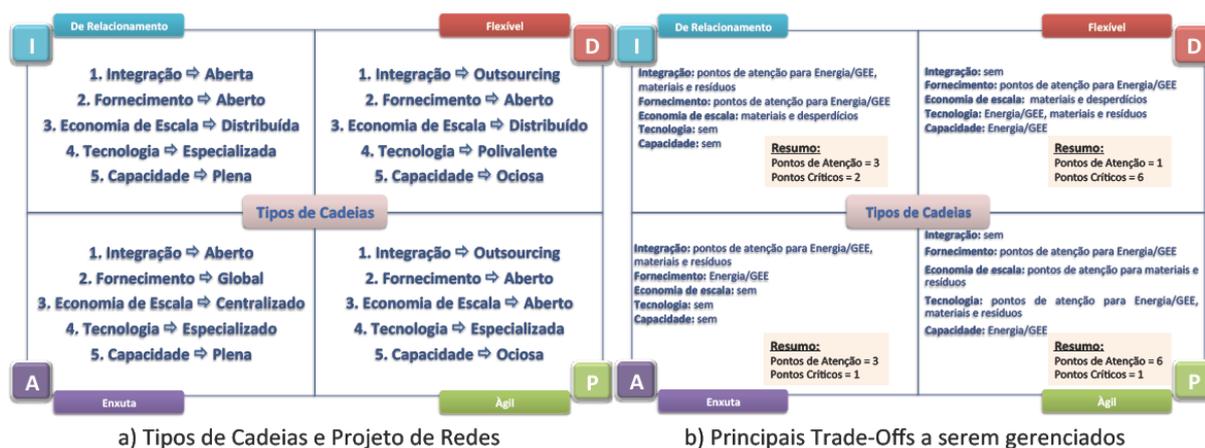


Figura 3 – Tipos de Cadeias de Suprimentos e Trade-Offs a serem gerenciados

Na Figura 3a, o critério "aberto" refere-se a uma situação onde é preciso avaliar a contexto em uma base individual, sendo que não é possível generalizar esses critérios. Sendo assim, levanta-se a hipótese de que a cadeia de suprimentos flexível tende a ter a estrutura descrita na Tabela 1.

Critério	Descrição
<b>Integração</b>	as práticas de outsourcing estratégico são largamente utilizadas para a obtenção de flexibilidade em termos de i) diferentes competências para apoiar o desenvolvimento de uma proposta de valor criativa para clientes, bem como um <i>time-to-market</i> superior e ii) capacidade para suportar variações de demanda.
<b>Fornecimento</b>	em algumas situações, quando a proposta de valor é o parâmetro mais importante, a cadeia tende a ser "global", porque uma cadeia de suprimentos flexível requer normalmente uma ampla rede de parceiros e fornecedores para atender às exigências distintas de um ambiente imprevisível. Os fornecedores e parceiros estão, muitas vezes, distantes uns dos outros, e a empresa deve buscar as competências requeridas onde quer que elas estejam. Por outro lado, quando o tempo de resposta é crucial, o fornecimento "local" é normalmente preferido, o que permite ajustes mais rápidos às mudanças não previstas. Assim, as cadeias flexíveis têm o critério fornecimento definido como "aberto" na Figura 3a, ou seja, deve-se decidi-lo em uma base individual.
<b>Economia de Escala</b>	as empresas flexíveis tendem a estar perto dos clientes, sendo assim elas tendem a ser "distribuídas" quando o mercado é distribuído. Além disso, uma estrutura distribuída pode ser útil para acomodar diferentes necessidades de modais e as variações em termos de volume e especificações. Neste caso, a economia com ganhos de escala e eficiência não são críticos a este tipo de cadeia de fornecimento. A capacidade de reagir de forma criativa é a questão mais importante.
<b>Tecnologia</b>	tendência a ser "polivalente" para acomodar as necessidades dos clientes diferentes e melhor suportar inovações.
<b>Capacidade</b>	tende a ser "ociosa", visando acomodar variações de demanda imprevisas e picos de demanda. Capacidade funciona como um amortecedor para cadeias flexíveis.

Tabela 1 – Cadeias de suprimentos flexíveis

Exatamente do lado oposto de uma situação flexível, a cadeia de suprimentos enxuta tende a ter uma estrutura de rede com as características descritas na Tabela 2.

Critério	Descrição
<b>Integração</b>	este atributo pode ser considerado como "aberto". Uma cadeia de suprimentos enxuta será "vertical", visando obter reduções de custos e economias de escala. No entanto, se existem outros fornecedores que podem fornecer o mesmo produto com a mesma qualidade com custos reduzidos e confiabilidade similar em termos de entrega, então o uso de práticas de "outsourcing" pode ser uma opção interessante.
<b>Fornecimento</b>	os principais atributos são os custos e confiabilidade na entrega. Como o <i>leadtime</i> não é um atributo fundamental para o fornecimento, este tende a ser "global".
<b>Economia de Escala</b>	tende a ser "centralizada" para obter altos volumes e reduções de custos, sendo a eficiência o foco.
<b>Tecnologia</b>	tende a ser "especialista" com flexibilidade muito limitada. Devido à procura de estabilidade, as cadeias enxutas não necessitam de muita flexibilidade.
<b>Capacidade</b>	as instalações tendem a ter níveis elevados de ocupação (i.e., "plena"), pois pouco desperdício é permitido.

Tabela 2 – Cadeias de suprimentos enxutas

O terceiro tipo de cadeia refere-se à abordagem ágil, a qual está descrita na Tabela 3.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
<b>Integração</b>	empresas ágeis tendem a realizar "outsourcing" para a obtenção de flexibilidade visando suportar variações de demanda. Em comparação com a situação flexível, a cadeia de suprimentos ágil é uma situação menos radical, mas o <i>outsourcing</i> continua sendo uma opção interessante. Um exemplo típico seria a Dell, que emprega outsourcing estrategicamente para respostas mais ágeis do mercado.
<b>Fornecimento</b>	"aberto" é provavelmente a situação geral. Em alguns casos o fornecimento tende a ser "local" para permitir reduções de <i>leadtime</i> de componentes com elevado valor ou estratégicos. A empresa Dell é um bom exemplo, já que os seus principais fornecedores estão localizados perto de suas instalações (menos de 40 km nos EUA), o que permite uma resposta ágil às alterações na demanda. Às vezes, uma abordagem híbrida existe. Na Zara os fornecedores de commodities estão localizados na China, devido ao fato de que estes proporcionam preços mais baixos para matérias-primas não críticas. Já os fornecedores para os componentes mais específicos (normalmente relacionados com inovação acelerada), usados em novos produtos, estão próximos à sua planta na Espanha.
<b>Economia de Escala</b>	é, muito provavelmente, "aberta". Os exemplos apresentados no último parágrafo também ilustram essa situação. A Zara segue basicamente uma abordagem centralizada com uma única fábrica na Espanha, enquanto a Dell decidiu localizar suas instalações em todo o mundo, nos EUA, Marrocos, Brasil, Irlanda, Polónia, China, Malásia e Índia. Ambos são conhecidos casos de cadeia ágil, de acordo com Gattorna (2006).
<b>Tecnologia</b>	deve-se privilegiar tecnologias do tipo "especializadas" em cadeias ágeis, pois as variações de demanda são comuns em termos de volumes, mas menos em termos de variedades, em se comparado às cadeias flexíveis. No entanto, em diversas situações, principalmente quando o portfólio de produtos da empresa tende a ser grande, tecnologias polivalentes podem ser utilizadas. Ou seja, existe uma pequena tendência para tecnologias especializadas, mas nem sempre essa tendência se aplica.
<b>Capacidade</b>	tende a ser "ociosa" para acomodar variações de demanda e picos de demanda. A capacidade funciona como um amortecedor para as cadeias de suprimentos ágeis, igualmente para as cadeias flexíveis.

Tabela 3 – Cadeia de Suprimentos ágeis

No lado oposto, há as cadeias de relacionamento, que normalmente têm a sua estrutura de rede definida tal como descrito na Tabela 4.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
<b>Integração</b>	neste tipo de cadeia é fundamental manter um bom nível de serviço, conforme acordado com os clientes. A decisão sobre qual nível de integração vertical utilizar depende da confiabilidade dos fornecedores, assim a estratégia de integração tende a ser "aberta". Quando uma base confiável de fornecedores está disponível no mercado, o "outsourcing" pode surgir como uma opção bastante interessante. Caso contrário, é importante manter as operações sob controle e a opção "vertical" é normalmente mais adequada.
<b>Fornecimento</b>	semelhante à lógica de integração vertical, a estratégia de fornecimento tende a ser "aberta". Como o <i>leadtime</i> não é um atributo fundamental para abastecimento, o fornecimento pode ser "global" se esta opção é aceitável em termos de confiabilidade. Se não for o caso, o fornecimento deve ser "local".
<b>Economia de Escala</b>	pode ser ambas (centralizada ou distribuída), mas a empresa está geralmente perto do cliente. Ela é "distribuída" quando o mercado está distribuído.
<b>Tecnologia</b>	tende a ser "especializada" visando estabilidade. Além disso, como os clientes são bem conhecidos e decisões podem ser tomadas em conjunto, a aquisição de uma nova tecnologia pode ser parte de um acordo entre ambos os parceiros.
<b>Capacidade</b>	tende a ser "plena", devido à procura de estabilidade, mas é geralmente planejada de forma colaborativa.

Tabela 4 – Cadeias de suprimentos ágeis

É importante lembrar que esse trabalho busca levantar hipóteses fundamentais somente, e que a discussão sobre esses critérios de projeto de rede representa apenas uma tendência de acordo com o ponto de vista dos autores, e que várias exceções são possíveis. Conforme será discutido posteriormente, alguns estudos experimentais estão em curso para tentar validar algumas dessas hipóteses.

A subseção seguinte analisa algumas possíveis *trade-offs* verde para os quatro tipos de cadeia de suprimentos.

### 3.3 Trade-Offs Fundamentais

Esta subseção fornece um primeiro *framework* geral no sentido de combinar aspectos verdes com critérios de projeto de rede visando verificar quais possíveis *trade-offs* ambientais as empresas provavelmente enfrentam ao lidar com múltiplas cadeias de suprimentos de acordo com a teoria do alinhamento dinâmico proposto por Gattorna (2006). A Figura 3b resume esses principais *trade-offs*. Duas situações possíveis existem na Figura 3b:

1) Pontos de Atenção: fazem referência a uma situação em que o critério de projeto de rede a ser inspecionado é considerado "aberto". Neste caso, o designer de rede terá de avaliara numa base individual, sendo que o critério em questão terá quer ser gerenciado para que o mesmo não vá para o lado negativo do continuum. Por exemplo, para uma cadeia de suprimentos flexível, não existe uma estratégia de fornecimento típica. Neste caso, pode-se navegar entre as abordagens locais e globais, mas sabe-se que o abastecimento global é geralmente menos eficiente em termos de consumo de energia e emissões de GEE. Neste caso, o projetista da rede terá que lidar com essa questão com cuidado. A Figura 3b indica que uma cadeia flexível possui somente um ponto de atenção, por exemplo.

2) Pontos Críticos: neste caso, a opção considerada adequada para o tipo de cadeia está em conflito com alguns requisitos verdes. Por exemplo, uma cadeia flexível tende a empregar tecnologias polivalentes, mas este tipo de tecnologia é geralmente menos eficiente em termos de energia / GEE, consumo de materiais e geração de resíduos. A Figura 3b indica, por exemplo, que uma cadeia flexível possui normalmente seis pontos críticos, sendo que tais pontos terão de ser gerenciados adequadamente. Talvez seja necessário levantar medidas visando compensar e equilibrar os impactos ambientais desses pontos.

Como pode ser observado na Figura 3b, a cadeia flexível é provavelmente a situação mais complexa a ser gerenciada devido ao fato de que seis pontos críticos e um ponto de atenção existem. Pontos de atenção são mais flexíveis, sendo possível manipulá-los a fim de reduzir o seu impacto. Os pontos críticos, ao contrário, são mais complexos porque se referem a requisitos importantes para servir os clientes que requerem muita flexibilidade, assim eles são difíceis de mudar. Neste caso, iniciativas verdes mais radicais podem ser consideradas.

Por exemplo, uma vez que os pontos críticos relacionados com a Energia / GEE estão presentes três vezes em ambientes flexíveis (ver Figura 3b), a empresa provavelmente terá que avaliar a possibilidade de empregar as energias alternativas, incluindo energia eólica, solar, biomassa, biocombustíveis e outras, visando reduzir impactos ambientais e melhor atingir os requisitos verdes. Outras iniciativas também podem ser avaliadas, tais como a compra de créditos de carbono, promover o uso de tecnologias limpas, etc.

A cadeia de suprimentos ágil também é uma situação complexa a ser gerenciada, dado que seis pontos de atenção e um ponto crítico estão presentes. Capacidades ociosas são normalmente correlacionadas com desempenho ambiental inferior, bem como alguns pontos de atenção relacionados com à tecnologia, integração vertical e estratégias de fornecimento também existem, mas tais pontos podem ser administrados mais facilmente.

Cadeias de relacionamento e cadeias enxutas representam situações menos complexas, porque em geral representam situações que permitem mais facilmente a criação de uma rede de instalações que respeite as exigências ambientais. Apesar do fato de três pontos de atenção estarem presentes para ambos os tipos de cadeia, apenas alguns pontos críticos existem, sendo dois para a cadeia de relacionamento e um para a cadeia enxuta.

Assim, basicamente dois grupos de tipos de cadeia de suprimentos existentes: do lado direito, as cadeias flexíveis e ágeis são consideradas as situações mais complexas; do lado esquerdo, as cadeias de relacionamento e enxutas representam situações com uma quantidade inferior de pontos críticos e de atenção, sendo assim mais fáceis de ser projetadas a fim de assegurar uma performance verde superior. Acreditamos fortemente que isto está relacionado a uma característica destes tipos de cadeias: a demanda, a qual é bastante instável e menos previsível no primeiro grupo, de modo que exige mais flexibilidade e conseqüentemente menos eficiência.

#### 4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo propõe um quadro teórico inovador visando combinar os princípios de projeto de cadeias de suprimentos com a teoria de alinhamento dinâmico e cadeias de suprimentos múltiplas, a partir de uma perspectiva de gestão ambiental. Ao combinar esses conceitos, verifica-se que vários *trade-offs* ambientais existem ao se projetar diferentes cadeias de suprimentos visando atender clientes distintos. Nesse sentido, o framework proposto é um primeiro passo para a criação de uma teoria definitiva nessa área de conhecimentos em emergência.

O quadro aqui proposto está sendo usado para a realização de uma série de estudos experimentais e empíricos. Em um primeiro momento, a equipe de pesquisadores está levantando dados reais de indústrias na área de bens de consumo não-duráveis, como foco em cadeias de suprimentos ágeis. Esses dados estão sendo imputados em uma ferramenta de projeto de redes logísticas que emprega métodos de otimização de sistemas. Diversos cenários de projeto de rede estão sendo criados com base no framework proposto. Um estudo preliminar deverá ser publicado em breve. Em um segundo momento, a equipe pretende realizar estudos qualitativos baseados em estudos de caso. Empresas de diversos sectores deverão ser estudadas a fim de se detalhar o quadro conceitual aqui proposto, fornecendo mais detalhes dos *trade-offs* a serem vivenciados por empresas que projetam ou reestruturam suas cadeias de suprimentos. Novos insights surgirão e novas versões desse quadro conceitual serão publicadas em um futuro próximo.

#### Referências

- ARAUJO, J. B. AND OLIVEIRA, J.F.G.** *Proposal of a Methodology Applied to the Analysis and Selection of Performance Indicators for Sustainability Evaluation Systems*. In: Curran, R.; Chou, S.Y.; Trappe, A.. (Org.). Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World. London: Springer, p.593-600, 2008.
- AZEVEDO, R.S.C., D'AMOURS, S. AND RÖNNQVIST, M.** *SCM process-oriented framework – a theoretical proposal*. The 3rd World Conference on Production and Operations Management (POM), Tokyo, Japan, 2008
- BAGLIN, G, BRUEL, O., GARREAU, A., GREIF, M., KERBACHE, L. AND DELFT, C.V.** *Management industriel et logistique : concevoir et piloter la supply chain*. Paris: Economica, 2007.
- BREMER, C.F., AZEVEDO, R.C. AND KLEN, A.P.** *Long-lasting business transformation in value chains*. Seventh Annual Supply Chain Management Symposium. October 28 - 30 2009, Toronto, Ontario, Canada, 2009.
- COOPER, M., LAMBERT, D.M. AND PUGH, J.D.** *Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics*. The International Journal of Logistics Management Vol. 8, n. 1, p.1 -14, 1997.
- ELKINGTON, J.** *Cannibals with Forks – The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Environmental Quality Management Vol. 8, n. 37, 1998.
- GATTORNA, J.** *Living Supply Chains: Alinhamento dinâmico de cadeia de valor*. São Paulo: FT Prentice Hall, 2009.
- GATTORNA, J.** *Living Supply Chains: How to mobilize the enterprise around delivering what your customer want*. London: FT Prentice, 2006.
- HUTCHINS, M.J. AND SUTHERLAND, J.W.** *An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions*. Journal of Cleaner Production Vol. 16, p.1688–1698, 2008
- KETTANI, O.** *A DSS for the design of supply networks*, CORS/Optimization Days 2008 joint conference. Canada, May 12 -14, 2008.
- KLIBI, W., MARTEL, A. AND GUITOUNI, A.** *The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review*. European Journal of Operational Research Vol. 203, n. 2, p. 283-293, 2010.
- LAKHAL, S., A. MARTEL, O. KETTANI ET M. ORAL** *On the Optimization of Supply Chain Networking Decisions*. European Journal of Operational Research Vol. 129, n. 2, p. 259-270, 2001.

---

**LAMBERT, D.M.** *The essential Supply Chain Management Processes*. Supply Chain Management Review Vol. 8, n. 6, p. 18-26, 2004.

**PAGELL, M. AND ZHAOHUI, W.** *Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies from 10 exemplars*. Journal of Supply Chain Management Vol. 45, n. 2, p. 37-56, 2009.

**PIRES, S.R.I** *Managerial implications of the modular consortium model in a Brazilian automotive plant*. International Journal of Operations & Production Management Vol. 18, n. 3, p. 221-232, 1998.

**SCOR** *Supply-Chain Operations Reference-model (SCOR) - Version 8.0*. Supply-Chain Council, Inc., 2006.

**SEURING, S. AND MÜLLER, M.** *From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management*. Journal of Cleaner Production Vol. 16, p. 1699-1710, 2008.

**STOKES, S.** *The age of carbon*. AMR Research, 2009.

**SVENSSON, G.** *Aspects of Sustainable Supply Chain Management: Conceptual framework and empirical example*. Supply Chain Management Vol. 12, n. 4, p. 262-266, 2007.

**SYARIF, A., YUN, Y. AND GEN, M.** *Study on multi-stage logistic network: a spanning tree-based genetic algorithm approach*. Computers & Industrial Engineering Vol. 43, p. 299-314, 2002.

**WILKERSON, T.** *Introduction to GreenSCOR*. Supply-Chain World North America Conference & Exposition, March 17-19, 2008, Minneapolis.