

APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR NA GESTÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO VERDE: ESTUDO DE CASO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ELETRÔNICOS

1. INTRODUÇÃO

Devido ao avanço da temática de sustentabilidade ambiental nas discussões das esferas públicas e privadas, bem como da sociedade em geral, as organizações estão cada vez mais preocupadas com seus impactos ao meio ambiente. A tecnologia de informação (TI), por exemplo, embora seja um dos componentes atuais mais importantes do ambiente corporativo, tem ocasionado uma série de problemas ambientais relacionados, principalmente, à sua produção, descarte inadequado e elevado consumo de energia elétrica (ATTORI et al., 2020). Assim, emergiu um novo conceito denominado TI verde, que se refere à minimização do efeito ambiental negativo da TI, tornando sua fabricação, uso e descarte mais verdes (MOLLA; COOPER; PITTAYACHAWAN, 2011; WATSON; BOUDREAU; CHEN, 2010).

Nesse contexto em que as questões ambientais estão em destaque, a economia circular (EC) surgiu como uma alternativa aos atuais modelos econômicos baseados na extração-uso-descarte de recursos (DEMESTICHAS; DASKALAKIS, 2020). De acordo com Webster (2015), a EC busca a maior utilidade dos produtos, componentes e materiais em todos os momentos do ciclo de vida. Dessa forma, a economia circular representa uma oportunidade de tornar o processo de gestão da TI das empresas um ciclo mais sustentável e ambientalmente correto. Nesse sentido, destaca-se a relevância dos princípios da EC à gestão da TI verde, de modo a buscar a minimização e eliminação do impacto ambiental da TI ao longo do seu ciclo de vida.

Apesar de toda relevância que a TI verde e a EC possuem no contexto organizacional (ATTORI et al., 2020; SUÁREZ-EIROA et al., 2019), a literatura referente à relação dos mesmos é ainda considerada escassa. Sarkis e Zhu (2008) reconhecem a relação entre TI e EC e que a TI como produto pode causar uma grande quantidade de carga ambiental devido aos resíduos e emissões, porém há muito campo para investigação nessa temática (ATTORI et al., 2020). Logo, torna-se importante o desenvolvimento de estudos que abordem empiricamente a aplicação de modelos e práticas circulares à gestão da TI verde.

A partir da contextualização apresentada, define-se a seguinte questão de pesquisa: Como os princípios da economia circular são aplicados à gestão da tecnologia da informação verde em uma organização? Logo, o objetivo desta pesquisa é analisar como os princípios da economia circular são aplicados à gestão da tecnologia da informação verde em uma organização, por meio da condução de um estudo de caso em uma empresa da cadeia de eletrônicos localizada na região de Sorocaba/São Paulo.

Este trabalho está estruturado conforme a seguir. A próxima seção apresenta uma revisão literária a fim de esclarecer os conceitos de economia circular, tecnologia da informação verde e a relação entre esses assuntos. Em seguida, há uma seção de metodologia, na qual apresenta-se a abordagem da pesquisa, a seleção do caso estudado e a coleta e análise dos dados. A partir disso, os resultados e discussões são expostos, trazendo achados estabelecidos com base em todo processo da pesquisa. Por fim, a seção de considerações finais finaliza este estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Economia circular

A economia circular é vista como uma abordagem emergente voltada ao uso sustentável dos recursos naturais (MCDOWALL et al., 2017) e concentra-se em maximizar a circularidade dos recursos e energia nos sistemas de produção (GHISELLINI et al., 2016; DEMESTICHAS; DASKALAKIS, 2020). Sendo assim, o termo tem recebido grande atenção dos pesquisadores, tanto por sua conceituação teórica, quanto por suas estratégias práticas de implementação (GEISSDOERFER et al., 2017). Nesse contexto, Geng e Doberstein (2008) alertam para a necessidade de redesenhar o caminho linear tradicional de produção e consumo, abrangendo três objetivos que devem ser alcançados simultaneamente: a qualidade ambiental, a prosperidade econômica e a equidade social (TAYLOR, 2016; ELKINGTON, 1998; WCED, 1987).

A ideia de sistema fechado foi introduzida por Boulding (1966), o qual já considerava a limitação dos recursos naturais disponíveis para as atividades humanas. O conceito foi continuamente sendo estudado e propuseram o fluxo de material em circuito fechado (*closed-loop*), que se baseia no princípio “tudo é uma entrada para todo o resto” (SU et al., 2013). Dessa forma, visa-se alcançar uma sociedade mais circular, com o objetivo de dissociar o crescimento econômico do esgotamento de recursos naturais e da degradação ambiental (SUÁREZ-EIROA et al., 2019; MURRAY et al., 2017). A Fundação Ellen MacArthur (2013) é uma das principais instituições responsáveis por difundir o conceito da EC, definido como um sistema industrial que é restaurador e regenerador, que visa substituir o conceito de ‘fim de vida’ por restauração ao eliminar resíduos por meio do projeto de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócio superiores. O Quadro 1 apresenta o *framework* ReSOLVE estabelecido pela Fundação Ellen MacArthur (2013) com seis ações operacionais para a implementação dos princípios da EC. Essas ações tem o objetivo de orientar as organizações quanto à implementação da EC.

Quadro 1 – *Framework* ReSOLVE

Ação	Definição
Regenerar (<i>regenerate</i>)	Baseia-se na mudança para materiais e energia renováveis. Os ciclos biológicos são usados para permitir a circulação de energia e materiais e para converter resíduos em fontes de energia e matérias-primas para outras cadeias.
Compartilhar (<i>share</i>)	Inclui a perspectiva de economia compartilhada, na qual bens e ativos são compartilhados entre indivíduos; maximizando a utilização dos produtos entre os usuários. Como consequência, os produtos devem ser projetados para durar mais tempo e a manutenção deve estar disponível para permitir a reutilização e a extensão da vida útil do produto.
Otimizar (<i>optimise</i>)	Refere-se a aumentar o desempenho ou a eficiência de um produto, removendo resíduos de materiais e energia na fabricação dos produtos e no uso.
Loop (<i>loop</i>)	Baseia-se em manter os componentes e materiais em circuito fechado e priorizar loops internos.
Virtualizar (<i>virtualise</i>)	Refere-se a estratégia centrada no serviço, que substitui o físico por produtos virtuais e desmaterializados.
Troca (<i>exchange</i>)	Envolve a substituição de produtos antigos e não renováveis por produtos avançados e renováveis.

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015).

A importância da EC é destacada pelos seus benefícios econômicos, sociais e, principalmente, ambientais. A Comissão Europeia espera desenvolver o crescimento econômico, gerando novas oportunidades de negócios e emprego por meio da EC.

(EUROPEAN COMMISSION, 2014a, 2014b). Na EC deve-se desenhar corretamente os processos, serviços e produtos de forma que sejam mais duráveis, reparáveis e atualizáveis, para permitir a remanufatura e a reciclagem pela mesma indústria ou por outras (BONCIU, 2014), prolongando a vida útil dos bens (STAHEL, 2014) e beneficiando o meio ambiente de forma significativa. Foram realizadas pesquisas na área tributária no contexto da EC, as quais enfatizam que mudanças como não tributar recursos renováveis, mas tributar recursos não renováveis, aceleraria a transição para a EC (STAHEL, 2013), bem como criar alguns benefícios fiscais para “produtos circulares”, reduzindo a taxa de imposto. Outro fator muito importante para uma transição bem-sucedida é a conscientização social, pelo fato de os clientes serem parte integrante de uma EC. Movimentos nessa área estão em andamento com programas educacionais, campanhas públicas e seminários (LIEDER; RASHID, 2016). Além disso, abordagens integrativas de modelos de negócio, *design* de produto, cadeia de suprimentos e gerenciamento do ciclo de vida do produto são analisadas e implementadas nas pesquisas (RESCOM CONSORTIUM, 2013).

Embora se reconheça os benefícios proporcionados pela EC, há diversos estudos sobre os desafios da implementação da EC no contexto de economias emergentes. Galvão et al. (2018) identificaram que as principais barreiras incluem a área da tecnologia - ausência de sistemas de informações compatíveis para tomadas de decisões necessárias - política e regulamentação, financeira e econômica, indicadores de desempenho, clientes e sociais. Já Van Eijk (2015), com um estudo na Índia, identificou que as principais barreiras são a circularidade que não está efetivamente integrada nas políticas de inovação e os incentivos governamentais, que apoiam a economia linear em vez de apoiar a nova forma de produção circular. Algumas barreiras estão relacionadas a modelos de negócio, como a dificuldade de internalizar riscos legais (PRENDEVILLE; BOCKEN, 2017), diminuir as vendas de novos produtos devido ao aumento das vendas de produtos reparados, recondicionados e remanufaturados (MACARTHUR, 2013). Além disso, menciona-se a existência de falta de organização para logística reversa - troca de produtos ou recursos devolvidos (KISSLING et al., 2013), de incertezas sobre o valor residual dos produtos (MONT et al., 2006), de dificuldades no planejamento e previsão financeira das empresas por imprevisibilidade do volume de produtos devolvidos (LINDER; WILLIANDER, 2017) e riscos com o desempenho e maiores responsabilidades por produtos e materiais recondicionados (MONT et al., 2017).

2.2. Gestão da tecnologia da informação verde

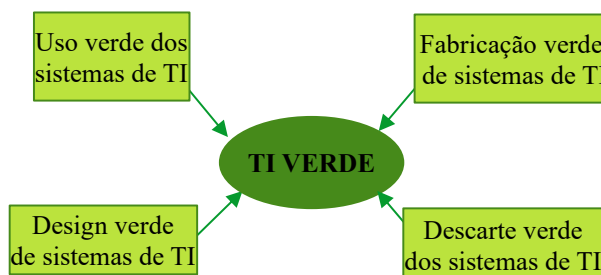
À medida que as empresas melhoram sua produtividade por meio do uso de tecnologias da informação em larga escala, a TI torna-se parte dos problemas ambientais por sua fabricação e descarte resultar em pontos críticos tóxicos, por ter uma vida útil curta e gerar emissões de carbono ao consumir muita eletricidade (SIEGLER; GAUGHAN, 2008; ATTORI et al., 2020). Nesse cenário, com o intuito de lidar com efeitos nocivos ao meio ambiente, surgiu a TI verde promovendo iniciativas e programas de tecnologia da informação e sistemas que abordam a sustentabilidade ambiental (SIEGLER; GAUGHAN, 2008). A TI verde tem potencial para reduzir as emissões globais em 15% (THE CLIMATE GROUP, 2008), melhorar a eficiência energética de softwares e hardwares, bem como reduzir o desperdício de equipamentos obsoletos (WATSON et al., 2008). Logo, a TI verde representa uma forma de combater ou amenizar os problemas socioambientais através do desenvolvimento de novas tecnologias, da conscientização das pessoas e da seleção de fornecedores que tenham projetos sustentáveis (VELTE; VELTE; ELSERPETER, 2008; HUANG, 2009).

A TI verde é usualmente motivada não só pelo potencial econômico, mas também por uma preocupação com o planeta, por questões éticas e de sustentabilidade, mesmo que os benefícios econômicos possam não ser tangíveis a curto prazo (LUNARDI; SIMÕES; FRIO,

2014). Sua adoção pode favorecer a implementação de estratégias ambientalmente favoráveis nas empresas, como a introdução de produtos ambientalmente corretos no mercado (BROOKS; WANG; SARKER, 2010), pressionando os concorrentes, consumidores e grupos da comunidade a implantar práticas empresariais sustentáveis (LADEIRA; COSTA; ARAUJO, 2009). Molla e Abareshi (2012) classificam essas vantagens em quatro categorias: a) melhorar a sustentabilidade ambiental associada aos objetivos de redução de custo, chamada ecoeficiência; b) alcançar resultados sociopolíticos, preocupando-se ao meio ambiente, com base nos sistemas de valores e crenças da organização, chamada ecoeficácia; c) melhorar a sustentabilidade ambiental por meio de oportunidades verdes ou como respostas a ações dos concorrentes, clientes e fornecedores, chamado ecoecorresponsividade; d) desenvolver ações em prol da sustentabilidade ambiental, devido as questões políticas e sociais que as organizações estão expostas, chamada ecolegitimidade. Além do mais, Melville (2010) propôs um *belief-action-outcome* (BAO) *framework*, demonstrando que os indivíduos (nível micro) influenciam a estrutura social (nível macro) em inovações tecnológicas sustentáveis, promovendo o desenvolvimento sustentável.

Para Murugesan (2008), a TI verde consiste no estudo e na prática de projetar, produzir, utilizar e descartar produtos e subprodutos computacionais de modo eficiente e eficaz, com o mínimo ou sem impactos negativos ao meio ambiente. O autor adotou uma abordagem holística sobre a TI Verde, a fim de resolver os impactos ambientais da TI e tornar as organizações mais verdes ao longo de todo o seu ciclo de vida. Conforme a Figura 1, Murugesan (2008) estabelece quatro frentes : a) Uso verde - utilizar computadores e outros sistemas de informação de maneira ambientalmente correta, reduzindo o consumo de energia; b) Descarte verde - recondicionar, reutilizar e reciclar adequadamente computadores antigos, indesejados e outros equipamentos eletrônicos; c) Design verde - projetar componentes eletrônicos com eficiência energética e ambientalmente corretos; d) Fabricação verde - fabricar computadores e outros sistemas eletrônicos com o mínimo ou nenhum impacto ao meio ambiente.

Figura 1 - Abordagem holística da TI verde



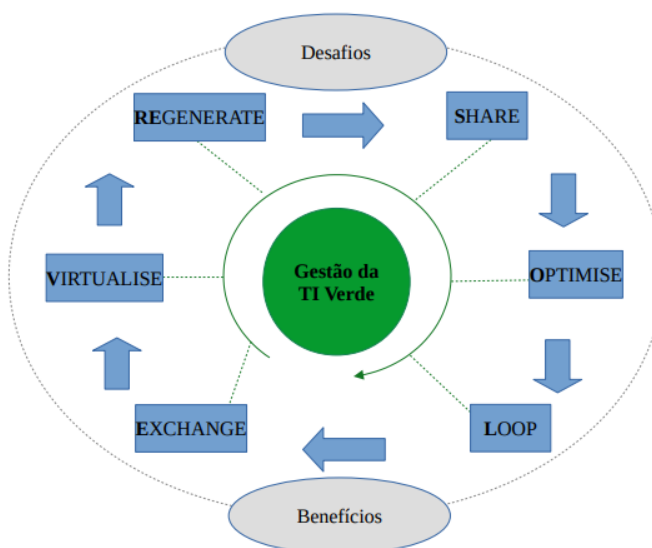
Fonte: Adaptado de Murugesan (2008).

Como resultado de um processo mais ecológico por parte das organizações, há inúmeros benefícios da TI verde, não apenas ambiental, mas também econômico e social. Segundo a Forrester Consulting (2009), a economia de custos de energia é um resultado esperado, como também a melhoria da imagem da marca da empresa com os clientes e o cumprimento da regulamentação ambiental. Contudo, alguns fatores dificultam a implementação da TI verde, tais como a necessidade de um alto capital para a iniciativa, conflitos entre o desenvolvimento econômico de curto prazo e a sustentabilidade ambiental de longo prazo, bem como dificuldade em quantificar todos os benefícios das atividades ecológicas (FORRESTER CONSULTING, 2009).

2.3. A relação entre EC e TI verde: *framework* de pesquisa

A partir da revisão de literatura, foi desenvolvido o *framework* conceitual desta pesquisa, que estabelece a potencial relação entre a economia circular e a tecnologia da informação verde (Figura 2). Sendo assim, busca-se com essa pesquisa diagnosticar como os princípios da economia circular podem contribuir para uma gestão da TI verde de forma mais eficaz, bem como quais os benefícios e desafios desta relação.

Figura 2 - Esquematização do *framework* de pesquisa



Fonte: Elaborada pelos autores.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1. Abordagem da pesquisa

Nesta pesquisa foi utilizada a abordagem qualitativa, que é indicada para trabalhos de caráter exploratório, quando há pouco material publicado sobre o tema em estudo. Deste modo, mostrou-se apropriada a esta pesquisa, uma vez que o estudo da economia circular em conjunto com a gestão da tecnologia da informação verde ainda está em seus passos iniciais.

Quanto ao método de pesquisa, foi utilizado o estudo de caso, limitado a um caso único em uma empresa da cadeia de eletrônicos localizada na região de Sorocaba/São Paulo, que implementa princípios de economia circular e TI verde. Para Yin (2003), a adoção do estudo de caso é adequada quando são propostas questões de pesquisa do tipo “como” e “por que”; trata-se de uma forma de se fazer pesquisa investigativa de fenômenos atuais dentro de seu contexto real. Além disso, a aplicação de estudo de caso é considerada uma estratégia de pesquisa crucial (KETOKIVI; CHOI, 2014; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), capaz de esclarecer detalhes e fornecer uma compreensão mais ampla da realidade dos fenômenos escolhidos para a pesquisa (YIN, 2003). Diante do exposto, acredita-se que o estudo de caso foi uma estratégia adequada para esta pesquisa. O protocolo de estudo de caso que guiou esta pesquisa é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Protocolo do estudo de caso

Questão de pesquisa	Como os princípios da economia circular são aplicados à gestão da tecnologia da informação verde em uma organização?
Construtos para análise	Práticas de EC para gestão de TI verde; benefícios; desafios; oportunidades do relacionamento.
Organização	Empresa da cadeia de eletrônicos que aplica princípios de EC e práticas de TI verde localizada na região de Sorocaba/SP.
Fontes de dados e confiabilidade	Cruzamento entre dados coletados por meio de entrevistas, análise documental; fonte primária: entrevistas em profundidade com respondentes-alvo.
Validade dos construtos	Fontes múltiplas de evidências (entrevistas e documentos).
Validade interna	Sistematização do processo de aplicação da EC na gestão de tecnologia da informação verde no caso analisado.
Validade externa	Lógica da replicação metodológica em estudo de caso e discussão dos resultados empíricos à luz do estado-da-arte do tema.
Exemplos de Questões-chave	Quais são os princípios de economia circular aplicados pela empresa? Quais as práticas de TI verde adotadas?
	Os princípios de economia circular dão suporte às práticas de gestão da tecnologia da informação verde?
	Quais são os principais desafios que emergem desse processo?
	Quais são os mais relevantes benefícios desse processo?

3.2. Seleção do caso

O estudo de caso deste trabalho foi conduzido com base em fontes múltiplas de evidências (entrevistas e documentos), uma vez que o objetivo é compreender profundamente a relação expressa no objetivo do estudo. O estudo foi realizado em uma empresa localizada na região de Sorocaba/SP, que adota princípios de economia circular e práticas de TI verde.

A empresa estudada, denominada como Empresa A, é um centro de inovação global pioneiro em sustentabilidade e em tecnologia para a indústria de eletroeletrônicos no Brasil. Por questões de confidencialidade, optou-se por não divulgar o nome da empresa. A Empresa A foi criada como uma extensão de uma grande multinacional de manufatura de produtos eletrônicos e surgiu da necessidade de atender à requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual tornou os donos das marcas de produtos eletroeletrônicos responsáveis por seus equipamentos até o fim do seu ciclo de vida. Nesse contexto, a Empresa A atua realizando a coleta e reciclagem de equipamentos, além de pesquisa e desenvolvimento, ao implementar inovações em projetos de TI sustentável. Além disso, a empresa conta com cerca de 150 funcionários, possui diversas certificações ambientais e atende apenas o mercado interno. Logo, a empresa selecionada é pioneira em termos de economia circular e TI verde no Brasil, demonstrando ser um caso emblemático para o tema em estudo.

3.3. Processo de coleta e análise de dados

O processo de coleta de dados, além de ser subsidiado por meio de uma análise documental, envolveu a realização de entrevistas com duas profissionais da empresa apresentada acima. Devido à quarentena, decorrente da pandemia de Covid-19, o primeiro contato com a empresa e a condução da entrevista foram completamente realizados de modo remoto. O contato inicial se deu via *Linkedin*, no qual foi enviada uma carta de apresentação da pesquisa, a fim de explicar sua finalidade para os funcionários da empresa de setores relacionados especificamente à sustentabilidade e produção. Após o retorno positivo, foi encaminhado o roteiro semiestruturado da entrevista para conhecimento prévio das questões.

Nesse passo, cabe destacar que as questões do roteiro de entrevista são oriundas da revisão de literatura e do *framework* de pesquisa.

A condução da entrevista foi realizada por meio da plataforma Zoom, durante o mês de junho/2020, com a presença de duas funcionárias da empresa de setores diferentes, denominadas entrevistadas A e B. Ambas as entrevistadas trabalham na organização há mais de 5 anos. O desenvolvimento da entrevista deu-se através da aplicação do roteiro de questões e de uma apresentação corporativa.

Os dados coletados foram analisados seguindo os padrões da pesquisa qualitativa e do estudo de caso. Eles foram organizados de acordo com os construtos estabelecidos no protocolo do estudo de caso. Dessa forma, os resultados foram transcritos e sistematizados, permitindo a análise contextual do caso, conferindo a estrutura do *framework* de pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Práticas de economia circular para gestão de TI verde

A empresa estudada tem como base do seu modelo de negócio a aplicação da economia circular no setor de produtos eletrônicos, visando uma gestão verde da tecnologia da informação. A sua operação é pautada em um ciclo fechado que tem início com a coleta de equipamentos eletrônicos pós-consumo, por meio de um sistema de logística reversa, seguida pelo reuso ou reciclagem dos produtos, transformando os resíduos em matéria-prima e peças para novos produtos. Nesse aspecto, a Entrevistada A explica que:

“Então, como falei, a gente habilita um novo modelo de produção que por consequência é um novo modelo de mercado, fechamos o ciclo que ficava aberto do depois do consumo. O que acontece com esse produto depois do consumo? Com a nossa solução, depois do consumo vem a logística reversa, a manufatura reversa, toda a parte reversa, até que o produto se torne de novo matéria-prima e volte para o processo normal de fabricação.” (Entrevistada A)

A empresa trabalha com a economia circular de forma integrada, como um negócio que gere lucro, construído com vista em quatro pilares: a) respaldo da Política Nacional dos Resíduos Sólidos; b) desenvolvimento de benefícios de custos para o cliente em adotar a logística reversa na empresa; c) cumprimento da lei que as marcas pregam em relação à segurança de dados e informações; d) aumento da reputação das marcas.

Como a economia circular e a gestão em TI verde são propostas sustentáveis atuais, a empresa teve que desenvolver novas ideias e criá-las de forma eficaz e inovadora, a fim de desenhar e construir máquinas ou sistemas necessários para a contribuição na produção de equipamentos mais sustentáveis. Assim, a empresa buscou redesenhar o fluxo de produtos eletrônicos para um padrão mais sustentável, parando de ver o “fim de vida” dos resíduos desses equipamentos como um lixo e começando a ver como uma matéria-prima, como recursos que poderão ser usados para outras finalidades ou até em outro eletrônico.

A Entrevistada A ressalta que a empresa teve que criar um modelo próprio para aplicação da economia circular “porque não existia nada feito para que o produto voltasse da casa do consumidor ou da fábrica do cliente de volta para a fábrica”. O sistema de logística reversa aplicado na empresa é um exemplo de sistema desenvolvido internamente, o qual tem o intuito de valorizar os resíduos e contribuir com a produção de equipamentos mais sustentáveis. A ideia surgiu da possibilidade de o produto voltar da casa do consumidor ou da fábrica do cliente para a indústria, ou seja, é um sistema utilizado pós-consumo para a transformação desse produto em matéria-prima novamente, voltando ao processo de fabricação e, com isso, excluindo a etapa de descarte. Desse modo, o que era considerado lixo na economia linear, passa a ser transformado e reusado na economia circular, mantendo o valor dos recursos,

conforme defendido por Suárez-Eiroa et al. (2019). O intuito de excluir essa etapa é de minimizar ou retirar a parte da extração de matéria-prima do meio ambiente e fechar o ciclo depois do consumo, podendo haver o reuso como equipamento ou reciclagem – etapa que é realizada após o produto não ter mais condições de recuperação - a fim de transformar os resíduos em matéria-prima ou em peças para outros produtos a serem fabricados.

Quando os resíduos não podem ser mais utilizados ou reaproveitados na cadeia de eletrônicos, eles são encaminhados para a reciclagem ou para a destruição total - a fim de fechar o ciclo da logística reversa - última etapa da economia circular, processo no qual os resíduos são transformados em matéria-prima e peças para novos produtos. Um exemplo é a produção de alcinhas de caixas de *notebooks* – o primeiro desafio da empresa - produzidas com materiais reciclados da cadeia de eletrônicos como matéria-prima, na qual são os cartuchos de tintas de impressoras que anteriormente iriam ser descartados, já que o plástico de ambos os produtos eram iguais e a produção de alcinhas pode continuar sendo produzida sem precisar extrair matéria-prima da natureza, tomando em conta de que já foi extraído o suficiente de plástico para manter essa produção em ciclo fechado. O desafio foi perceber de fato que as ideias desenvolvidas pela empresa se encaixavam no modo de produção circular. Com isso, a empresa deixa de extrair da natureza e fecha o ciclo por completo de logística reversa. Ressalta-se que o “*design for environment*” na produção dos equipamentos é uma etapa fundamental, a fim de projetá-los de forma que durem mais tempo e que facilitem a manutenção.

O processo de fabricação dos produtos da empresa estudada é chamado de injeção. Alguns dos resíduos processados são plásticos de alta qualidade extraídos do petróleo, em que sua obtenção é extremamente complexa. No caso da empresa, há uma enorme quantidade desses plásticos no final do processo de desmontagem dos eletroeletrônicos, já que eles compõem toda carcaça plástica dos produtos. Para que seja possível utilizá-los como matéria-prima para outros equipamentos, é preciso triturá-los, lavá-los em caso de ser plástico branco e logo em seguida entrar em uma etapa chamada extrusão, que se obtém polímeros em grãos para finalmente receber o molde no processo de injeção. Há também uma resina plástica testada em laboratório para manutenção da sua qualidade e emissão de laudos técnicos exigidos, a partir desta, fabrica-se os filamentos de impressão 3D. Outro produto aproveitado pela empresa é a bandeja de componentes eletroeletrônicos. Ao invés de descartar os resíduos plásticos, eles são utilizados para fabricar novas bandejas, as quais são inseridas no processo de manufatura de eletrônicos.

“Caso a gente consiga retirar ou diminuir a parte de extração, a gente fica com a melhor parte da construção de um produto, então antes disso a gente procura fazer o reuso e só depois fazer a reciclagem. Com tudo isso, conseguimos diminuir a emissão de energia, diminuir a emissão de gases poluentes, aumentando os empregos.”
(Entrevistada A)

Um fator importante destacado pela empresa é que ao trabalhar com a economia circular, necessita-se de um ecossistema integrado, ou seja, uma rede de empresas para ela ser realizada, a fim de tornar a produção de produtos eletroeletrônicos mais sustentáveis, tanto de forma econômica quanto ambiental. Portanto, é necessário expandir esse conhecimento à outras empresas ainda em transição da economia linear para a economia circular, à população em geral e ao governo. A mudança de comportamento não é trivial, então a ação deve ser realizada de forma conjunta, cada área fazendo sua parte e levando o conhecimento absorvido adiante para que essa maneira de produzir e agir seja mais comum. No caso da empresa estudada, além de obter essa rede de empresas trabalhando juntas, ela possui organizações parceiras próximas a ela, reduzindo bastante o custo do processo e promovendo maneiras de encontrar vantagens competitivas para o produto ambientalmente correto.

4.2. Benefícios da relação EC e TI verde

Ao utilizar um modelo de economia circular, as tomadas de decisões da Empresa A envolvem a preservação do meio ambiente, vantagem econômica e conscientização da população. Isto é, procura-se uma equidade ambiental, econômica e social, como foi citado pelos autores Taylor (2016) e Elkington (1998). Desse modo, suas práticas fazem com que o planeta seja impactado positivamente, trazendo inúmeros benefícios para o meio ambiente e para a população.

Com isso, segundo um trabalho de comparação de materiais reciclados com materiais virgens – matéria-prima proveniente do meio ambiente – realizado pela empresa estudada em parceria com a UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), constatou-se uma diminuição dos impactos negativos ao meio ambiente por meio da redução de consumo de energia e emissão de gases efeito estufa, sendo 82% e 64% de redução no consumo de energia e 71% e 55% na redução de emissão de CO₂ para os plásticos utilizados dos tipos HIPS e ABS, respectivamente. Consequentemente, o processo produtivo a partir da circularidade otimiza o desempenho e eficiência da fabricação do produto, sendo muito positivo.

Evidencia-se que a implementação da economia circular na gestão de produtos eletrônicos traz muitos benefícios, pelo fato de haver um ciclo produtivo fechado, com o compartilhamento e o reuso. Em suma, alguns benefícios relatados durante as entrevistas são: menos emissão de gases poluentes, observado nos quatro elementos essenciais considerados na definição de TI verde de Molla et al. (2008); menos consumo de energia, conforme a abordagem holística de Murugesan (2008); aumento de empregos, citado como benefício da EC pela pesquisa realizada pela Comissão Europeia (2014); desenvolvimento de novas máquinas e sistemas “verdes” e de materiais com o uso de plásticos sustentáveis. Aliás, Townsend e Coroama (2018) citam que iniciativas propostas pelo estudo da economia circular impulsionam sistemas “verdes” no qual gerenciam energia, água e outros recursos. Além disso, a empresa estudada é positivamente reconhecida pelas suas ações sustentáveis. As entrevistadas relatam que as práticas ambientais e de economia circular implementadas pela empresa são um diferencial de seus produtos eletrônicos, pelo fato de existirem *feedbacks* positivos dos clientes e de haver uma confiança na responsabilidade da empresa em levar a ideia sustentável adiante. Com isso, a reputação da empresa é fortalecida, gerando um valor para a marca e de imagem com o público.

“Os clientes que estão com a gente nesse caminho, demonstram muito esforço para mostrar e manter o valor que eles têm nos produtos deles. Com esse apelo de que você não está comprando apenas um produto, você está comprando o que tem por trás dele, sua história”. (Entrevistada A)

4.3. Desafios e oportunidades na relação EC e TI verde

Um desafio mencionado pela empresa ao adotar práticas de economia circular na cadeia de eletrônicos foi perceber de fato que as ideias desenvolvidas por eles se encaixavam nesse conceito emergente de EC. Além disso, é esclarecido que um dos maiores desafios das empresas na transição para a economia circular é incentivar os clientes a participarem do ecossistema todo, desde a produção até o fechamento do ciclo com a logística reversa, ou seja, não só entregar seus eletroeletrônicos não mais utilizáveis, mas também os adquirir após sua remanufatura ou reparo, comprando assim seu valor histórico. Esse resultado corrobora a barreira existente com os clientes mencionada por Galvão et al. (2018). Por mais que existam algumas empresas que investem em sustentabilidade e entendem esse “valor” histórico do produto, a maioria ainda não tem consciência desse valor. Assim, muitas empresas desempenham apenas o ecossistema parcial, pois as leis vigentes ainda são muito brandas, no

qual torna-se desafiador engajar todos os clientes de manufatura em um sistema de logística reversa completa.

Quanto às oportunidades, a ideia de sustentabilidade precisa ser expandida para a sociedade em geral e outras empresas. Com isso, a empresa estudada, pioneira sobre assunto no Brasil, tem uma parceria com o governo local para expandir esse conhecimento de sustentabilidade para crianças de escolas da rede pública, pregando os princípios da economia circular. As crianças têm a oportunidade de conhecer a empresa e os seus processos por meio de estratégias mais lúdicas, a fim de entenderem essa ideia sustentável, se interessarem pelo assunto e, conseqüentemente, ensinarem aos familiares em suas casas. A Empresa A também participa de uma organização que ajuda outras empresas a transitarem da economia linear para a economia circular de forma mais rápida e eficaz, pregando esse movimento a outras companhias.

As entrevistadas acreditam que existem muitas maneiras de influenciar o apoio e a facilitação das práticas ambientais, porém é uma questão difícil, por precisar de ajuda de muitas pessoas e setores, como do próprio governo, conforme apontado por Van Eijk (2015). A Entrevistada A acredita que deve haver um papel governamental em relação a ensinar o “como” fazer e expandir o conhecimento sobre práticas sustentáveis e circulares no formato de propagandas nas ruas, treinamentos, postagens em mídias sociais, entre outras formas de expansão da informação. “É quase que impossível mudar de comportamento sem citar “qual que é” e “o porquê” é importante essa mudança, a população não irá se auto conscientizar”, diz a Entrevistada A. Contudo, o papel não deve ser só do governo, mas também das empresas e das pessoas em geral. É preciso haver uma iniciativa e consciência das pessoas em começar a viver de forma mais sustentável, tratando isso de uma maneira não elitizada, como é tratado atualmente, a fim de facilitar adoção de práticas verdes.

4.4. Discussão do *framework* de pesquisa

Os resultados encontrados foram sistematizados e discutidos conforme a estrutura do *framework* de pesquisa. Conforme apresentado no Quadro 3, verificou-se que as práticas de EC como regenerar, compartilhar, otimizar e loop estão relacionadas com a gestão da TI verde no que se refere ao descarte e fabricação verdes. Além disso, o compartilhamento, a otimização, o loop e a troca estão conectadas com o design verde, uma vez que o projeto dos componentes eletrônicos é fundamental para incorporar e facilitar todo o processo de gestão circular do ciclo de vida dos produtos. Na empresa estudada não foi possível constatar a relação das práticas de EC com o uso verde das tecnologias da informação, uma vez que a organização representa apenas um dos atores da cadeia de eletroeletrônicos.

Quadro 3 – Análise e discussões conforme a estrutura do *framework*

Práticas da economia circular	Práticas de gestão de TI verde			
	Uso verde	Descarte verde	Design verde	Fabricação verde
Regenerar (<i>regenerate</i>)	-	Para que haja uma fabricação de plásticos pela empresa estudada a partir de resíduos enviados pelas organizações parceiras, é necessário um descarte consciente, ou seja, as empresas descartam os resíduos a fim de transformá-los em fontes de energia ou em matéria-prima para outras cadeias. Por exemplo, no caso estudado, há uma fabricação de plásticos. Com isso, o centro de	-	A logística reversa ajuda na fabricação verde. Com o retorno dos equipamentos à indústria, pode-se fabricar outros produtos com os resíduos de forma com que haja uma transformação para materiais renováveis e o uso de energia renovável. A remanufatura faz com que haja um conserto renovável de um

		reciclagem faz um papel importante no descarte verde, ajudando a regenerar os resíduos de forma consciente, a fim de transformá-los em matéria-prima para outros produtos. Além disso, a logística reversa dá apoio ao descarte verde também, pelo fato de ter o principal objetivo de recuperação de equipamentos eletrônicos já utilizados pelos usuários, ou seja, a necessidade do retorno desse equipamento para a indústria.		equipamento, usando energia renovável. Fabricar um equipamento após o seu consumo faz com que evite o descarte desse resíduo e produza outro produto, substituindo-o.
Compartilhar (<i>share</i>)	-	O pós-consumo ajuda com que a relação entre o descarte e o compartilhamento de bens e ativos seja viável, pelo fato de haver uma vida ainda útil após o consumo e que isso seja compartilhado por diversas vezes.	A empresa estudada possui uma etapa fundamental no processo da economia circular, a qual é o “ <i>design for environment</i> ”. A ideia é projetar os equipamentos de forma que durem mais tempo e que facilitem na manutenção, com o objetivo de maximizar a utilização dos produtos entre os usuários.	Ao fabricar um equipamento com os resíduos coletados, deve-se produzir com a ideia de que ele seja fácil de reparar, quando necessário, podendo durar mais tempo. A remanufatura é o primeiro nível da economia circular, no qual há um conserto dos produtos para seu reuso e, consequentemente, haja um aumento na vida útil desse produto. Isso faz com que haja uma maximização da sua utilização.
Otimizar (<i>optimise</i>)	-	A logística reversa faz com que aumente o desempenho do produto, aumentando, consequentemente, o descarte verde. A reciclagem aumenta a eficiência de um equipamento, sendo utilizado como matéria-prima novamente, até que realmente não seja possível mais reutilizá-lo.	A ideia do “ <i>design for environment</i> ” ajuda a aumentar a eficiência do equipamento, pelo fato de durarem mais tempo.	A logística reversa faz com que aumente a eficiência do produto, reduzindo o consumo de energia e a emissão de gases efeito estufa na sua produção. Além de aumentar seu valor histórico após sua remanufatura. Ao fabricar o produto, a ideia de “ <i>design for environment</i> ” faz com que o desempenho aumente, pelo fato de consumir menos energia do que em uma fabricação no modelo linear. A remanufatura faz com que o desempenho e a eficiência do equipamento aumentem, podendo ser utilizado por mais tempo e removendo o resíduo que antes iria ser jogado fora. O processo de circularidade otimiza o desempenho e a eficiência na fabricação dos equipamentos, pelo fato de haver uma enorme redução no consumo de energia.
Loop (<i>loop</i>)	-	A priorização dos loops internos é muito importante no	O aumento da vida útil do produto em um loop interno	A empresa trabalha de uma forma que haja um

		pós-consumo de um produto. A logística reversa ajuda a manter o loop interno entre empresas, dando a responsabilidade às organizações de retornar seus equipamentos eletrônicos já utilizados à indústria, não havendo um descarte incorreto.	faz com que o valor histórico do equipamento seja algo muito importante e agregador.	ecossistema integrado, havendo um envio dos resíduos pelas empresas para a remanufatura e a volta dos materiais reconicionados para o uso deles novamente. Isso faz com que a fabricação de certo material se mantenha em um loop. Com o retorno dos equipamentos à indústria, pode-se fabricar outros produtos de forma com que não precise retirar mais matéria-prima do ambiente. Além do mais, para que a economia circular funcione de forma eficaz, é preciso que as empresas não só descartem os resíduos, mas também comprem o ecossistema todo. A remanufatura faz com que o loop se mantenha por mais tempo.
Virtualizar (<i>virtualise</i>)	-	-	-	-
Troca (<i>exchange</i>)	-	-	O design de um equipamento é muito importante, tornando-o algo renovável e com um valor histórico grande.	A produção de um produto “verde” faz com que haja uma substituição por equipamentos renováveis, pelo fato de serem usadas matérias-primas com base em resíduos que antes iriam ser jogados fora.

Nota: - Não consta no caso estudado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de analisar como os princípios da economia circular são aplicados à gestão da tecnologia da informação verde. Para atingir o objetivo proposto, foi realizado um estudo de caso em uma empresa da cadeia de eletrônicos localizada na região de Sorocaba/SP, que aplica os princípios de EC para a gestão verde de TI.

Os resultados encontrados revelaram que a ideia da economia circular é aplicada na empresa a partir do reparo ou remanufatura dos equipamentos eletrônicos, a fim de consertá-los e reusá-los, fazendo com que a vida útil do produto se estenda e, consequentemente, seu valor histórico aumente. O conserto e reuso dos eletroeletrônicos ou o uso do que antes iria ser jogado fora como matéria-prima para outros equipamentos tem a ideia de fechar o ciclo de produção de um produto pós-consumo e, consequentemente, há uma redução no consumo de energia e na emissão de gases efeito estufa, ou seja, o processo produtivo a partir da circularidade otimiza o desempenho e eficiência da fabricação de produtos.

Um sistema de logística reversa próprio – retorno do produto à indústria pós-consumo para a transformação desse produto em matéria-prima novamente – foi desenvolvido pela empresa estudada, a fim de que haja um maior desempenho na produção. Outro fator em que demonstra que a economia circular é um processo eficiente é a redução da necessidade de extrair matérias-primas da natureza, pelo fato do fechamento do ciclo da cadeia produtiva e o resíduo virar a matéria-prima da produção. Além de aumentar a taxa de empregos, já que há mais áreas de atuação durante o processo circular. Vale ressaltar que, para que a economia circular

funcione de forma eficaz, é necessária uma rede de empresas trabalhando juntas, ou seja, um ecossistema integrado. Dessa forma, constatou-se a aplicação da EC na gestão verde da TI, por meio da relação das práticas de EC como regenerar, compartilhar, otimizar e loop com o descarte e a fabricação verde da TI, bem como as conexões do compartilhamento, otimização, loop e troca com o design verde da TI.

Com a condução desta pesquisa, foi possível explicar de maneira clara, com experiências atuais de uma empresa, a importância da aplicação dos princípios da economia circular para a gestão da tecnologia da informação verde, de forma a disseminar melhores práticas para as empresas da cadeia de eletrônicos e, assim, facilitar e garantir níveis mínimos de impactos negativos da TI ao meio ambiente. Para a teoria, este trabalho preenche lacunas na literatura ao abordar temas ainda pouco explorados em conjunto. Além de que a realização desta pesquisa contribui com a sociedade, ao facilitar e propagar mudanças em direção a uma economia eficiente em consumo e reaproveitamento de recursos.

Quanto às limitações do trabalho, leva-se em conta que, a partir de um estudo de caso único, não é possível uma generalização dos resultados em grande medida. Recomenda-se que as contribuições de outras empresas e atores da cadeia de eletrônicos também sejam estudadas. Vale ressaltar que a EC é muito agregadora para outras cadeias no mercado, porém esse estudo focou na relação com a área de TI verde e, conseqüentemente, na cadeia de eletrônicos. Logo, embora o estudo contribua para a sociedade e para as organizações de diversas atuações, ele teve como foco único a cadeia de eletrônicos. Sugere-se, assim, estudos futuros abordando a EC em outras cadeias de suprimentos.

REFERÊNCIAS

ATTORI, Z. N. B et al. Green Information Technology in Indonesia—A Systematic Literature Review. **IPTEK Journal of Proceedings Series**, n. 7, p. 78-83, 2020.

BONCIU, F. The European economy: from a linear to a circular economy. **Romanian Journal of European Affairs**, v. 14, p. 78, 2014.

BOULDING, K. E. The economics of the coming spaceship earth. **New York**, 1966.

BROOKS, S.; WANG, X.; SARKER, S. Unpacking green IT: A review of the existing literature. 2010.

DEMESTICHAS, K.; DASKALAKIS, E. Information and communication technology solutions for the circular economy. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7272, 2020.

ELLEN-MACARTHUR-FOUNDATION. **Circular Economy System Diagram**, 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram>.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental quality management**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998.

FORRESTER CONSULTING. **IT's role in reducing corporate environmental impact**. 2009.

FRANCO, M. A. Circular economy at the micro level: a dynamic view of incumbents' struggles

and challenges in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**, p. 833-845, 2017.

GALVÃO, G. G. A. et al. Circular economy: overview of barriers. **Procedia CIRP**, v. 73, p. 79-85, 2018.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 3, p. 231-239, 2008.

GEISSDOERFER, M. et al. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

HUANG, A. H. A model for environmentally sustainable information systems development. **Journal of Computer Information Systems**, v. 49, n. 4, p. 114-121, 2009.

KETOKIVI, M.; CHOI, T. Renaissance of case research as a scientific method. **Journal of Operations Management**, v. 32, n. 5, p. 232-240, 2014.

KISSLING, R. et al. Success factors and barriers in re-use of electrical and electronic equipment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 80, p. 21-31, 2013.

LADEIRA, W.; COSTA, J.; ARAUJO, C. Green IT e o Processo de Produção de Informação: Uma Análise das Atividades que Produzem Sustentabilidade Ambiental. **Encontro Nacional da ANPAD**, 2009.

LINDER, M; WILLIANDER, M. Circular business model innovation: inherent uncertainties. **Business strategy and the environment**, v. 26, n. 2, p. 182-196, 2017.

LUNARDI, G.L.; ALVES, A. P. F.; SALLES, A. C. Desenvolvimento de uma escala para avaliar o grau de utilização da tecnologia da informação verde pelas organizações. **Revista de Administração (São Paulo)**, v. 49, n. 3, p. 591-605, 2014.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. **Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK**, 2013.

MCDOWALL, W. et al. Circular economy policies in China and Europe. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 651-661, 2017.

MELVILLE, N. P. Information systems innovation for environmental sustainability. **MIS quarterly**, v. 34, n. 1, p. 1-21, 2010.

MOLLA, A.; COOPER, V.; PITTAYACHAWAN, S. The green IT readiness (G-readiness) of organisations: An exploratory analysis of a construct and instrument. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 29, n. 1, p. 67-96, 2011.

MOLLA, A. et al. E-readiness to G-readiness: Developing a green information technology readiness framework. **ACIS 2008 Proceedings**, p. 35, 2008.

MOLLA, A.; ABARESHI, A. Organizational green motivations for information technology: empirical study. **Journal of Computer Information Systems**, v. 52, n. 3, p. 92-102, 2012.

MONT, O.; DALHAMMAR, C.; JACOBSSON, C. A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1509-1518, 2006.

MONT, O. et al. Business model innovation for a circular economy: drivers and barriers for the Swedish industry—the voice of REES companies. 2017.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, p. 369–380, 2017.

MURUGESAN, S. Harnessing green IT: Principles and practices. **IT Professional**, v. 10, n. 1, 2008.

PRENDEVILLE, S.; BOCKEN, N. Design for remanufacturing and circular business models. In: **Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design**. Springer, Singapore, 2017. p. 269-283.

ResCoM (RESOURCE CONSERVATIVE MANUFACTURING). **ResCoM – from linear to closed – loop manufacturing**. 2013. Available at: <http://www.rescoms.eu/rescom>.

SARKIS, J.; ZHU, H. Information technology and systems in China's circular economy: Implications for sustainability. **Journal of Systems and Information Technology**, v. 10, n. 3, p. 202-217, 2008.

SIEGLER, K.; GAUGHAN, B. A practical approach to Green IT. Webinar. **World Wide Web** <<http://www.itmanagement.com/land/green-it-webinar>, 2008.

STAHEL, W. R. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 1986, p. 20110567, 2013.

STAHEL, W. R. Reuse is the key to the circular economy. **European Commission Available at**. <http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/reuse-is-the-key-to-the-circular-economy_en>, 2014.

SU, B. et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

SUÁREZ-EIROA, B. et al. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 952-961, 2019.

TAYLOR, S.J. **A review of Sustainable Development Principles**. 2016. Available at. <http://mri.scnatweb.ch/en/afromontcontent/afromont-discussion-documents/2602-sustainable-development-review-2016/file>.

VAN EIJK, F. Barriers & Drivers towards a Circular Economy. Literature Review. **Acceleratio: Naarden, The Netherlands**, p. 1-138, 2015.

VELTE, T.; VELTE, A.; ELSENPETER, R.C. **Green IT: reduce your information system's environmental impact while adding to the bottom line**. McGraw-Hill, Inc., 2008.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WATSON, R. et al. Green IS: Building Sustainable Business Practices. The Global Text Project. 2008.

WATSON, R. T.; BOUDREAU, M. C.; CHEN, A. J. Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the IS community. **MIS Quarterly**, p. 23-38, 2010.

WCED. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, United Nations. 1987.

WEBSTER, K. The circular economy: A wealth of flows. Cowes, Ellen MacArthur Foundation, 2015. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-circular-economy-a-wealth-of-flows-2nd-edition>>.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. Beverly Hills: Sage Publishing, 2003.