



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS SOBRE A RECICLAGEM DE PAPEL E SEUS POSSÍVEIS BENEFÍCIOS

COMPUTER SIMULATION TO EVALUATE SCENARIOS ON PAPER RECYCLING AND ITS POTENTIAL BENEFITS

Eugênio de Oliveira Simonetto^a; Denise Rossato Quatrin^a; Leander Luiz Klein^a; Glauco Oliveira Rodrigues^a

^a Universidade Federal de Santa Maria (UFSC), Santa Maria, RS, Brasil - Departamento de Ciências Administrativas

Resumo

Do total dos resíduos sólidos urbanos, 13,1% é a taxa de participação do papel. (IBGE, 2010a). Tal percentual considerável remete a questionamentos quanto ao destino desse material que, sabidamente, possui uma vida útil mesmo depois do descarte. Nesse sentido, este estudo teve o propósito de apresentar a modelagem, desenvolvimento e validação de um modelo de simulação computacional da reciclagem do papel contido nos resíduos sólidos urbanos, visando identificar as possíveis economias de água, energia elétrica e redução do corte de árvores. Como resultados, destaca-se que, conforme estimativas ressaltadas no referencial teórico, a maior taxa de reciclagem de cada tipo de papel provê taxas consideráveis e positivas nos três elementos analisados. Além disso, o mesmo cumpre seu propósito de servir como fonte de informação para gestores ambientais, os quais tiveram participação no processo de validação desse modelo.

Palavras-chave: Simulação Computacional; Reciclagem de Papel; Resíduo Sólido Municipal.

Abstract

From the total municipal solid waste, 13,1% is paper (IBGE, 2010a). Such a considerable percentage raise questions about the destination of this material, known for its life cycle even after disposal. The present study aimed to present the modeling, development and validation of a computer simulation model of paper recycling from municipal waste, in order to identify the possible water and energy saving, besides the reduction of tree cutting. As results, according to estimates highlighted in the theoretical framework, the highest recycling rate of each paper type provides considerable and positive rates in the three elements analyzed. Moreover, this paper fulfills its purpose of serving as a source of information for environmental managers who have participated in the model validation process.

Keywords: Computer Simulation. Paper Recycling. Municipal Solid Waste.

1. INTRODUÇÃO

Uma das tendências que está se tornando notória no ambiente organizacional e empresarial é o conjunto de ações e atividades referentes à sustentabilidade. Dentre os consumidores e nos mercados em geral é lançada e debatida uma nova forma ou modo de consumo e comportamento quanto às práticas sustentáveis da sociedade e dos governos, que refletem no meio empresarial. Na concepção de Oliveira *et al.* (2010), a reconfiguração econômica envolvendo a incorporação de obrigações ambientais e sociais está

ocorrendo vagarosamente, mas efetivamente. Mascarenhas *et Silva* (2013) corroboram com o assunto ao dizerem que dada a proximidade do limite da extração de recursos, deve haver uma mudança na melhoria dos processos produtivos, geração de valor na cadeia produtiva, obtenção de um consumo consciente e procedimentos pós-consumo, como o descarte correto dos produtos e embalagens, para contribuir para a gestão sustentável.

Nesse sentido, a reciclagem dos resíduos sólidos é uma alternativa para propiciar benefícios ambientais e econômicos, tais como, a preservação de recursos naturais, a economia de energia, a redução de área que demandada



pelo aterro sanitário, a geração de emprego e renda, assim como busca conscientizar a população em relação a questões a sustentabilidade ambiental do Planeta. Assim sendo, a reciclagem de resíduos busca o desenvolvimento sustentável na gestão integrada dos resíduos sólidos, pois reduz significativamente o uso de recursos (ambientais e econômicos) na produção de aço, alumínio, papel/papelão, plástico e vidro. Outro aspecto que denota a importância da reciclagem de resíduos é o fato de esta ser considerada uma ação prioritária do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Ministério do Meio Ambiente, 2011). Estas práticas vão ao encontro da gestão sustentável enunciada por Mascarenhas et Silva (2013), que tem como objetivo reduzir os impactos ambientais, gerar riqueza e valor e atender aos anseios sociais que compõem o que Elkington (2004) intitulou a TBL (*Triple Bottom Line*) ou o tripé da sustentabilidade - social, ambiental e econômico.

No entanto, o que ocorre é que apesar de ser uma alternativa para a redução de resíduos com destino aos aterros, menos de 10% dos resíduos são reutilizados ou reciclados nas cidades gaúchas, segundo a CEMPRE (Organização Não Governamental Compromisso Empresarial para Reciclagem) *apud* Netto (2001). Uma informação mais recente chama atenção quanto à reciclagem no Brasil, uma vez que “menos de 10% do lixo recolhido é reciclado nas cidades que abrigam os jogos do Mundial em 2014” (BBC Brasil, 2013). Um dos motivos para tal parcela reduzida de reciclagem deve-se ao mau acondicionamento dos resíduos pela população, fato este gerado pela falta de informação acerca da coleta seletiva ou então falta de investimentos que possibilitem a coleta seletiva (Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente, 2011). Outros fatores que contribuem para o pequeno índice de reciclagem dos resíduos é o alto custo da coleta seletiva para os municípios. Nesse quesito, observa-se uma redução progressiva do custo, se em 1994 a coleta seletiva era dez vezes maior que a coleta convencional, em 2010 já era quatro vezes maior (CEMPRE, 2010).

Outro aspecto a ser considerado é que para que os resíduos de papel/papelão gerados pela população e pelas indústrias venham a ser reaproveitados e contribuam para a redução do uso de recursos naturais, que se tornam cada vez mais escassos, é fundamental que se tenham informações precisas e confiáveis sobre as características físico-químicas, as quantidades geradas e coletadas e o destino dado aos resíduos. Tal fato pode ser demonstrado pela constante atenção dada pelos pesquisadores da área de sistemas de apoio à decisão nos últimos anos, que através do uso das ferramentas dessa área, podem apresentar situações cotidianas do mundo real, estudar seu comportamento e tomar decisões com base nas conclusões extraídas de

forma fidedigna. Nessa perspectiva, o objetivo do artigo é apresentar a modelagem, desenvolvimento e validação de um modelo de simulação computacional da reciclagem do papel contido nos resíduos sólidos urbanos.

Uma das contribuições desse artigo é permitir a avaliação e análise de cenários acerca da reciclagem de resíduos sólidos, no caso o papel, tanto no que tange à quantidade de resíduos reciclados, como nos benefícios gerados pela mesma. No caso do artigo, foi avaliada e estimada a economia de água e energia elétrica, bem como a diminuição do corte de árvores obtidas com o processo de reciclagem de papel. Assim, outra contribuição do artigo é o estabelecimento de estimativas de economias com a reciclagem do papel. De maneira geral, procura-se também contribuir com estudos e aspectos teóricos da importância de práticas sustentáveis para o planeta.

O artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2 é apresentado o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do estudo. Na seção 3 são descritos o problema de modelagem, as variáveis componentes e o modelo desenvolvido. Na seção 4 são apresentados a validação, os cenários de simulação e um experimento utilizando o modelo. Na seção 5 são apresentados os resultados gerados pelo modelo para o experimento. As considerações finais são apresentadas na seção 6.

2. MÉTODO DE PESQUISA

Nesse artigo, o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento do modelo computacional foi baseado na metodologia proposta por Law et Kelton (1991), que consiste nas seguintes etapas: (1) busca de estudos exploratórios e artigos científicos, manuais de referência e documentos demonstrativos sobre a reciclagem de papel, com os quais foi caracterizado o problema e objetivo de pesquisa; (2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema; (3) implementação computacional da solução, utilizando-se o simulador Vensim (2012]da área de *system dynamics*; (4) validação da solução, através de testes em laboratório e dados sobre a reciclagem de papel, para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com a realidade observada e; (5) simulação de dois cenários para a reciclagem de papel.

Os cenários que serviram como base para a validação do modelo foram gerados a partir de análises, onde foram utilizados dados históricos relativos ao censo populacional de 2010 (IBGE, 2010b), ao Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil-2010 (ABRELPE, 2012), ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Ministério do Meio Ambiente, 2011) e a um estudo de ABTCP (2008), bem como à participação



de pesquisadores e um especialista na área. Os conceitos envolvidos no desenvolvimento da pesquisa (reciclagem de papel e *system dynamics*) são apresentados a seguir nas seções 2.1 e 2.2.

2.1. Reciclagem de Papel

A reciclagem de resíduos sólidos, no caso desse trabalho, o papel, pode gerar relevantes contribuições sociais, econômicas e ambientais a uma determinada cidade ou região, e para o planeta como um todo. Referente a isso, destaca-se que, de acordo com dados do *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (2004), a produção de papel consome enorme quantidade de energia e água, além de árvores. Nesse sentido, a reciclagem do papel pode exercer importante função de economia desses recursos. Quanto aos aspectos sociais, pode-se destacar tanto a questão do correto destino desse material, quanto à geração de postos de trabalho em cooperativas de beneficiamento e reciclagem.

Com relação aos benefícios ambientais da reciclagem de papel, diversos aspectos podem ser citados como positivos. Segundo dados do EPA (2013), a reciclagem de papel pode gerar contribuições à sociedade e ao planeta, dentre essas, pode-se citar as seguintes:

- Redução das emissões de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas, evitando emissões de metano e reduzindo a energia necessária para uma série de produtos de papel;
- Aumento do fornecimento de fibras e contribuição para o sequestro de carbono;
- Economia de espaço em aterro sanitário;
- Redução do consumo de energia e água;
- Redução da necessidade de descarte (ou seja, aterramento ou a incineração, diminuindo a quantidade de CO₂ produzida).

O papel está entre os produtos que apresentam maior taxa de reciclagem no Brasil, segundo informações da BRACELPA (2013). Dentre os tipos de papel utilizados na reciclagem, o papelão é um material encontrado em grande escala nos resíduos sólidos municipais perfazendo uma taxa de composição gravimétrica em torno de 13%. Do montante de papel reciclado, 80% são destinados à confecção de embalagens, 18% para papéis sanitários e 2% para impressão (BRACELPA, 2010).

Outros dados relativos à reciclagem de papel tornam o estudo relevante. Segundo informações do EPA (2013) e Waste Management (2013), cerca de 50 quilos de papel reciclado evitaria o corte de uma árvore. Ademais, o consumo de água na reciclagem é de aproximadamente

50% menor. Dados como estes, ressaltam a importância de tornar a reciclagem de papel algo mais frequente no cotidiano da sociedade, dado os benefícios que essa ação gera para o planeta como um todo.

2.1.1 System Dynamics

Segundo Daellenbach *et al.* (2005), a metodologia *system dynamics* (SD) possibilita o estudo do comportamento dos *sistemas* ao longo do tempo, de maneira a permitir a avaliação das consequências de determinadas decisões. Com base nessa concepção e pelo fato de o objeto desse trabalho ser a reciclagem dos vários tipos de papel em um horizonte temporal futuro, decidiu-se utilizar o SD para modelagem e simulação computacional para alcance do objetivo de pesquisa.

A estrutura para a efetuação da modelagem dos SD é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos. Ford (2009) define os SD como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados. Os estoques referem-se às variáveis formadoras do modelo que são acumuladas no sistema real (ambiente de análise) e os fluxos são as funções de decisão ou políticas de um sistema.

3. O MODELO DE SIMULAÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Ministério, 2011) definiu a ordem de ações a ser seguida na gestão de resíduos, onde, dentre as quais, foi incluída a reciclagem como uma das principais ações. Associado à prioridade atribuída pela PNRS, verifica-se a crescente geração de resíduos sólidos pela população (ABRELPE, 2012), logo, demandando que alternativas viáveis ao melhor aproveitamento dos resíduos sólidos sejam criadas e executadas. Nesse aspecto, a reciclagem dos resíduos, no caso deste estudo, o papel/papelão surge como uma alternativa viável, já que no momento em que o material é reciclado ele não demanda espaço em um aterro sanitário, não polui o meio ambiente e não utiliza recursos naturais em excesso na sua transformação.

Tendo por embasamento a prioridade atribuída à reciclagem pela PNRS e os ganhos ambientais ocasionados por essa (Monteiro *et al.* 2001), nesse trabalho buscou-se o desenvolvimento de um modelo de simulação o qual permitisse tanto aos gestores ambientais, quanto os da área de resíduos sólidos avaliar políticas de reciclagem de papéis no que refere-se aos tipos reciclados e aos ganhos ambientais, visando o desenvolvimento sustentável, gerados por esta. Quanto à questão referente aos ganhos ambientais, no modelo, foi avaliada a economia de energia elétrica, redução do corte de árvores e redução do consumo de água gerada pela reciclagem do papel/papelão.



As decisões, a partir das análises geradas pelo modelo, poderão envolver a busca pela elevação da taxa de reciclagem (com campanhas de conscientização da população), busca pela redução do consumo, incentivos ao aumento do “consumo verde” (reduzindo resíduos orgânicos no meio ambiente) (Mansvelt, 2010), bem como outras análises e observações de interesse dos gestores ambientais e/ou municipais, desde que as mesmas sejam exequíveis no modelo de simulação. O modelo foi implantado buscando simplificar a interação usuário-computador, para que análises do tipo “o que se?” (*what-if?*), comuns em modelos de simulação, sejam de rápida e simples execução.

Para a definição das variáveis do modelo de simulação (Figura 1) foram utilizados trabalhos acadêmicos e governamentais da área de resíduos sólidos, mais especificamente, ABRELPE (2012), Ministério do Meio Ambiente (2011) e ABTCP (2008). As variáveis selecionadas, bem como suas inter-relações com outras variáveis, as quais influenciam nos valores totais de geração e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, são:

- A **taxa de nascimento anual (NascTaxa)**, a **taxa de mortalidade anual (MortTaxa)**, a **taxa de imigração anual (ImigTaxa)** e a **taxa de emigração anual (EmigTaxa)**, todas estas influenciando diretamente os fluxos de **entrada** e **saída populacional (AcrescPop e DecrPop)**, os quais determinam a **população total (Populacao)** do município. Foi utilizada no modelo a taxa de crescimento natural

ou vegetativo (total de nascimentos – total de mortes) a qual corresponde à única forma possível de crescimento ou redução da população mundial e, quando se analisa o crescimento de áreas específicas devem ser consideradas, também, as migrações. Essas variáveis são representadas pelas equações (1), (2) e (3) na formulação matemática do modelo de equações diferenciais ordinárias. (Figura 1)

- A **quantidade média de resíduos (RSUPerCapita)** gerada por cada habitante multiplicada pela **população total** do município resulta na **quantidade total de resíduos (GeracaoRSU)** do município. As variáveis descritas são representadas na equação (4) do modelo matemático (Figura 1);

- Os **fluxos de entrada de reciclagem de papel** (foram considerados os tipos de papéis citados no relatório estatístico da BRACELPA (2012), quais sejam: **Ondulado (Ondulados)**, **cartolina (Cartolina)**, **misto (Misto)**, **jornal (Jornal)**, **branco (Branco)** e **Kraft (Kraft)**, que representam a totalidade anual de papel reciclável de cada um dos diferentes tipos de material e, são obtidos através do produto da **quantidade total de resíduos (GeracaoRSU)** pela **taxa percentual de participação do resíduo sólido no total de resíduos gerados** (composição gravimétrica) e, ainda, o produto desse pela **taxa de reciclagem do material** em análise. As equações (Figura 1) que representam as variáveis relativas aos fluxos de entrada estão descritas no modelo matemático pelas equações (5), (6), (7), (8), (9) e (10);

(1)	$Populacao(t) = AcrescPop(t) - DecrPop(t)$
(2)	$AcrescPop(t) = (ImigTaxa * Populacao(t)) + (NascTaxa * Populacao(t))$
(3)	$DecrPop(t) = (EmigTaxa * Populacao(t)) + (MortTaxa * Populacao(t))$
(4)	$GeracaoRSU(t) = Populacao(t) * RSUPerCapita$
(5)	$EntOnd(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecOndulado) * TxPartOndulado$
(6)	$EntKra(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecKraft) * TxPartKraft$
(7)	$EntCart(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecCartolina) * TxPartCartolina$
(8)	$EntJorn(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecJornal) * TxPartJornal$
(9)	$EntBra(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecBranca) * TxPartBranca$
(10)	$EntMist(t) = (GeracaoRSU(t) * TxRecMista) * TxPartMista$
(11)	$Ondulados(t) = EntOnd(t)$
(12)	$Kraft(t) = EntKra(t)$
(13)	$Cartolina(t) = EntCart(t)$
(14)	$Jornal(t) = EntJorn(t)$
(15)	$Branca(t) = EntBra(t)$
(16)	$Mista(t) = EntMist(t)$
(17)	$Agua(t) = (Ondulados(t) + Kraft(t) + Cartolina(t) + Jornal(t) + Branca(t) + Mista(t)) * 40500$
(18)	$Arvores(t) = (Ondulados(t) + Kraft(t) + Cartolina(t) + Jornal(t) + Branca(t) + Mista(t)) * 17$
(19)	$EnergiaElet(t) = (Ondulados(t) + Kraft(t) + Cartolina(t) + Jornal(t) + Branca(t) + Mista(t)) * 2,5$

Figura 1. Formulação Matemática das variáveis do modelo



- A quantidade total acumulada de cada tipo de papel reciclado é representada pelas variáveis de nível **ondulado, cartolina, misto, jornal, branco e kraft**. As variáveis relativas aos totais acumulados de cada um desse tipo de papel reciclável estão descritas nas equações (11), (12), (13), (14), (15) e (16) na Figura 1;

- A **quantidade de árvores (Arvores), água (Agua) e energia elétrica (EnergiaElet) economizadas** com o processo de reciclagem são obtidas através das equações (17), (18) e (19) descritas na Figura 1, a qual para seu cálculo utiliza dados referentes à economia obtida pelos distintos tipos de recursos, bem como a geração total de cada um desses.

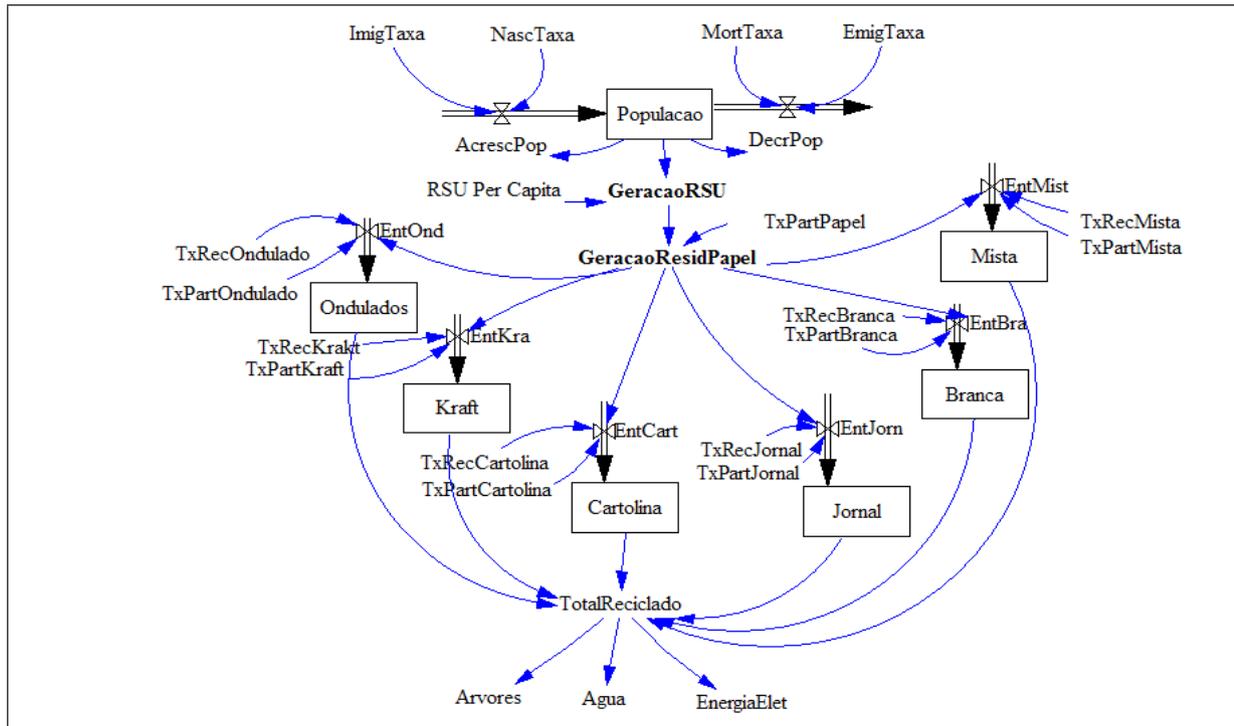


Figura 2. Modelo de simulação desenvolvido

Fonte: Próprio (s) autor (es)

4. VALIDAÇÃO E EXPERIMENTOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Na primeira fase de validação, ou seja, da validação conceitual do problema, são validados os requisitos e as variáveis do modelo. Nesse primeiro momento, foram utilizados dados de artigos científicos, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Ministério, 2011), de manuais técnicos referentes à área de resíduos sólidos e, contou com a participação de especialistas em gestão ambiental. Na segunda fase de validação, quando da implantação no simulador Vensim (2012), foram utilizados dados históricos sobre a população brasileira e gestão de RSU para a verificação dos módulos individualmente e sua integração com os demais módulos componentes do modelo. Foram, também, verificados e validados os resultados gerados pelo modelo de simulação e sua conformidade com resultados obtidos no mundo real, denotando a fidedignidade do modelo. Em ambas as fases os resultados atenderam às expectativas dos projetistas da simulação e especialistas (gestores ambientais).

Na etapa de validação posterior, para a construção do experimento, foram utilizados dados e taxas reais

(população, crescimento populacional e dados referentes à gestão dos resíduos sólidos) de um município da Região Sul. Para tal, foram gerados 2 (dois) cenários a serem simulados no modelo: (a) Cenário atual com variação atual das taxas e; (b) cenário otimista, o qual é baseado em taxas crescentes da reciclagem de resíduos, bem como da manutenção estática da taxa de geração de resíduos sólidos por parte da população. Esse tipo de validação pode-se reconhecer como análise de sensibilidade do modelo de simulação, visto que foram utilizadas variáveis controladas nos *inputs* e verificadas as variações nos resultados. O detalhamento e quantificação de taxas para cada cenário simulado são apresentados a seguir na subseção 4.1.

5. CENÁRIOS SIMULADOS NO MODELO

Buscando melhor visualização dos cenários simulados, na Tabela 1 serão apresentadas as taxas básicas referentes ao crescimento populacional, à geração de resíduos, à participação do papel nos RSU, à composição gravimétrica do papel nos resíduos gerados, à reciclagem de cada tipo de papel analisado pelo modelo, bem como a economia de energia elétrica, água redução no corte de árvores,



devidas à reciclagem de papel. Esses dados foram obtidos a partir do Censo Populacional (IBGE, 2010b), do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil-2011 (ABRELPE, 2012), do Relatório Estatístico 2011/2012 (BRACELPA, 2012) e de um

estudo feito em parceria entre ABTCP, 2008. Os cenários gerados foram concebidos pelos pesquisadores, com o auxílio de gestores ambientais.

Tabela 1. Taxas básicas consideradas na simulação

População	Foram consideradas as taxas atuais de natalidade e mortalidade, onde o crescimento populacional médio de um município do Rio Grande do Sul foi de 0,7% (IBGE, 2010b).
Geração de Resíduos	A taxa média de geração de resíduos urbanos diária é de, aproximadamente, 1,223 kg/pessoa (ABRELPE, 2012). A evolução da geração anual é de 2%.
Taxa de participação do papel	O percentual de papel do total de resíduo sólido urbano é de 13,1% (IBGE, 2010a)
Composição Gravimétrica de Papel nos Resíduos Gerados	As taxas foram obtidas em BRACELPA (2010): Ondulado - corresponde a 63,35% dos resíduos de papel gerados. Kraft – corresponde a 8,93% dos resíduos de papel gerados. Cartolina- corresponde a 2,95% dos resíduos de papel gerados. Jornal – corresponde a 4,2% dos resíduos de papel gerados. Branca – corresponde a 12,6% dos resíduos de papel gerados. Mista – corresponde a 5,09% dos resíduos de papel gerados.
Taxa de Reciclagem de cada tipo de papel	As taxas foram obtidas em BRACELPA (2010): Ondulado - 62% foi reciclado. Kraft – 7,4% foi reciclado. Cartolina- 2,6% foi reciclado. Jornal – 5,4% foi reciclado. Branca – 12,5% foi reciclado. Mista – 6,6% foi reciclado.
Economia de energia elétrica	Uma tonelada de papel reciclado evita o gasto de 2,5MW/h de energia (WASTE MANAGEMENT, 2013)
Redução no corte de árvores	Uma tonelada de papel reciclado evita o corte de 17 árvores (WASTE MANAGEMENT, 2013)
Economia de água	Uma tonelada de papel reciclado evita o consumo de 40.500 litros de água (ABTCP, 2008)

Fonte: Próprio (s) autor (es)

5.1. Cenário atual da reciclagem de papel

No cenário atual da reciclagem foram consideradas as taxas de crescimento populacional e de geração de resíduos *per capita*, porém manteve-se estática a composição gravimétrica e, considerou-se um pequeno aumento nos índices de reciclagem do material. O detalhamento do cenário pode ser visualizado na Tabela 2.

5.1.1 Cenário otimista da reciclagem de papel

Na concepção do cenário positivo foram simuladas taxas crescentes da participação do papel no total de RSU, bem como um aumento da taxa de reciclagem de cada tipo de papel analisado no estudo. Foi mantida estática a taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos e o crescimento populacional foi também mantido para fins desse cenário

simulado. Em relação ao cenário atual, considerou-se que a RSU per capita tenha aumentado 20%, que a taxa de participação do papel tenha passado de 13,1% para 14,4% dos RSU e que tenha havido um aumento de 10% na taxa de reciclagem de cada tipo de papel. A descrição do cenário pode ser visualizada na Tabela 2.

6. EXPERIMENTO

Definidos os cenários para a realização do experimento com o uso do modelo foram executadas as simulações. Conforme descrito anteriormente, os dados utilizados em ambos cenários foram de um município do interior do Rio Grande do Sul, com aproximadamente 262 mil habitantes (IBGE, 2010b), o qual possui coleta seletiva de resíduos sólidos, bem como unidades de triagem de resíduos sólidos



Tabela 2. Descrição dos cenários atual e otimista

Variável	Cenário Atual	Cenário Otimista
Crescimento Populacional	Foram consideradas as taxas atuais de natalidade e mortalidade de um município do interior do Rio Grande do Sul, com cerca de 262 mil habitantes.	Foram consideradas as taxas atuais de natalidade e mortalidade do município do interior do Rio Grande do Sul, com cerca de 262 mil habitantes.
Geração de Resíduos	Nesse cenário, a taxa de geração de resíduos foi considerada com uma evolução anual de 2%.	Nesse cenário, a taxa de geração permaneceu estática até o fim do tempo simulado e não foi considerada a evolução anual de 2%.
Composição Gravimétrica do Material nos Resíduos Gerados	Nesse cenário, o índice de composição gravimétrica dos seis tipos de papel com relação à geração de resíduos sólidos não se alterou.	Nesse cenário, o índice de composição gravimétrica dos seis tipos de papel com relação à geração de resíduos sólidos não se alterou.
Taxa de Reciclagem do Material	Nesse cenário, considerou-se um aumento de 0,3% nas taxas de reciclagem (ao ano), para cada tipo de material reciclado.	Nesse cenário, considerou-se um aumento de 10% na taxa de reciclagem de cada um dos tipos de papel analisado, ao longo dos 30 anos.

Fonte: Próprio (s) autor (es)

visando à reciclagem dos mesmos. As demais informações foram obtidas em documentos técnicos, conforme já exposto na seção anterior. A simulação considerou um período de tempo de 30 (trinta) anos, o qual pode ser alterado pelos usuários finais ou pelos projetistas do modelo, visando projeções de um período mais curto ou mais longo.

Para a execução dos cenários simulados foi utilizado o simulador Vensim (Vensim, 2012) em uma estrutura computacional com processador Intel Core (i5 2450) de 2,5 Ghz, 4 Gb de memória RAM e o tempo de execução da simulação dos dois cenários foi na ordem de milionésimos de segundo. Os resultados obtidos com o uso do modelo são apresentados na subseção seguinte.

Tabela 3. Resultados dos cenários no 30° ano simulado e relação com geração total de resíduos sólidos urbanos gerados

Papel	Cenário Atual (Ano 30)		Cenário Otimista (Ano 30)	
	Quantidade Reciclada (ton.)	Relação Geração Total RSU	Quantidade Reciclada (ton.)	Relação Geração Total RSU
Ondulado	9.530	5,025%	13.815	7,28%
Kraft	160,33	0,084%	232,4	0,122%
Cartolina	18,61	0,009%	26,99	0,014%
Jornal	55,02	0,029%	79,74	0,042%
Branco	382,13	0,20%	554,17	0,292%
Misto	81,51	0,043%	156,06	0,082%
TOTAL	10.227,60	5,39%	14.864,36	7,83%

Fonte: Próprio (s) autor (es)

Nessa análise verifica-se um considerável índice de reciclagem no cenário otimista, onde o mesmo chega a 7,83% do total de resíduos sólidos gerados (14.864,36 toneladas). Nessa mesma análise, o cenário atual atinge o índice de

7. RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção serão apresentados os resultados da modelagem referentes à quantidade total de papel reciclado em relação à geração total de resíduos sólidos, bem como a economia advinda dessa reciclagem, em termos de água, energia elétrica e corte de árvores, ou seja, denotará o ganho ambiental decorrente da reciclagem do papel.

Primeiramente, apresentar-se-á a análise relativa à quantidade de resíduos reciclados em ambos os cenários, onde, para tal foi considerado o último ano simulado no modelo, ou seja, o 30° ano. Os resultados gerados, bem como o detalhamento da quantidade simulada para cada resíduo individualmente pode ser visualizado na Tabela 3.

5,39% do total de resíduos sólidos gerados (10.227,60 toneladas). Tem-se que, no 30° ano da simulação, o cenário otimista alcançaria, aproximadamente, 45% a mais de reciclagem de papel do que com os dados do cenário atual.



Dado o objetivo do estudo, que é estimar a quantidade de água, energia elétrica e árvores que podem ser poupadas com a reciclagem do papel contido no RSU, apresenta-se a seguir os resultados da simulação da quantidade de árvores que deixam de ser cortadas ao longo dos trinta

anos simulados, de acordo com os índices apresentados por (Waste Management, 2013). A Figura 3 traz um comparativo da redução no corte de árvores acumulada ao longo de 30 anos, nos cenários atual e otimista.

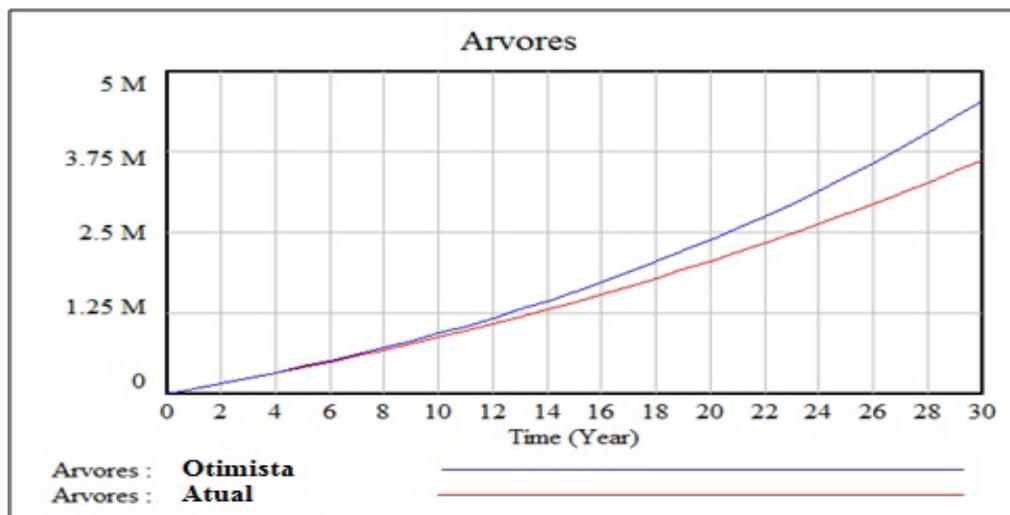


Figura 3. Redução no corte de árvores acumulada ao longo de 30 anos

Fonte: Próprio (s) autor (es)

Nessa análise evidencia-se o benefício da reciclagem de papel para o meio ambiente, em especial à fauna. Salienta-se, na Figura 3, uma redução média no corte de árvores de 4,5 milhões de árvores, sendo esse o número de árvores que deixariam de ser utilizadas, considerando-se o cenário otimista. Já, as projeções com as taxas atuais mostram uma economia de 3,6 milhões de árvores. Tem-se então, no 30º

ano da simulação, uma diminuição no corte de árvores para a fabricação de papel em torno de 25,5%.

Também foram buscados os resultados projetados da reciclagem de papel em termos de economia de água. Os resultados do acumulado de economia de água em 30 anos, nos cenários atual e otimista, podem ser visualizados e comparados na Figura 4.

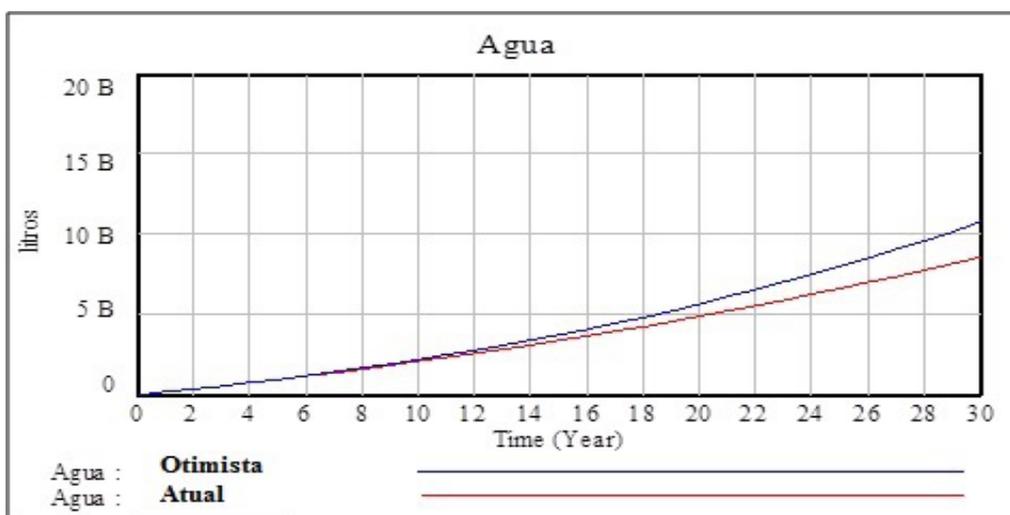


Figura 4. Economia de água acumulada ao longo de 30 anos

Fonte: Próprio (s) autor (es)



Tem-se que, no cenário otimista, seria alcançada uma economia média mensal de, aproximadamente, 29 milhões de litros de água, enquanto que as projeções dado o cenário atual apresentam uma economia de aproximadamente 23 milhões de litros de água. Esse valor torna-se mais significativo quando comparado com o consumo médio mensal de uma cidade, com o mesmo tamanho da tratada nesse estudo, e verifica-se que a estimativa da economia

mensal de água é capaz de suprir a necessidade mensal de água de, aproximadamente, 4.833 habitantes.

Uma última análise realizada está relacionada à economia de energia elétrica advinda da reciclagem de papel e a Figura 5 apresenta a economia de energia elétrica em trinta anos, comparativa do cenário atual e do cenário otimista.

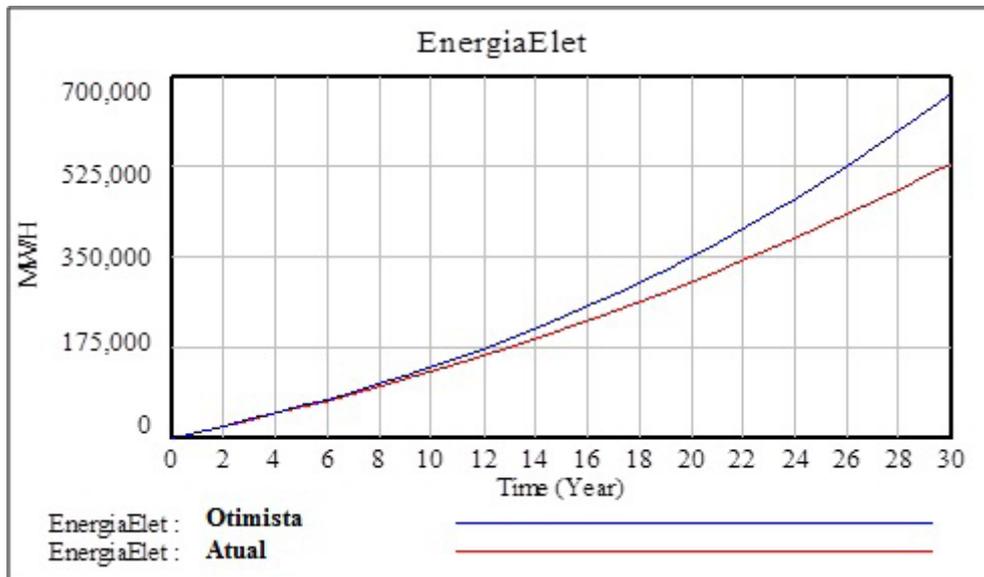


Figura 5. Economia de energia elétrica ao longo de 30 anos

Fonte: Próprio (s) autor (es)

Enquanto no cenário otimista existiria uma economia média mensal de 1.851,7MW/h no período de 30 anos, o cenário atual apresenta uma projeção de 1.475,1MW/h. Assim, o aumento de 10% da taxa de reciclagem de cada tipo de papel está associado com uma economia de energia aproximadamente 25,5% maior, se comparada com a taxa do cenário atual. Além disso, a economia média mensal projetada no cenário otimista é capaz de suprir a necessidade energética, de acordo com CEEE (2012), de aproximadamente 6.172 habitantes da cidade em estudo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das contribuições desse artigo é permitir a avaliação e análise de cenários acerca da reciclagem de resíduos sólidos, no caso o papel, tanto no que tange à quantidade de resíduos reciclados, como nos benefícios gerados pela mesma. No caso do artigo, foi avaliada e estimada a economia de água e energia elétrica, bem como a diminuição do corte de árvores obtidas com o processo de reciclagem de papel. Assim, outra contribuição do artigo é o estabelecimento de estimativas de economias com a reciclagem do papel. De maneira geral, procura-se também contribuir com estudos e aspectos teóricos da importância de práticas sustentáveis para o planeta.

O presente estudo teve como objetivo apresentar a avaliação e a análise de cenários a partir de dados referentes à reciclagem do papel presente nos resíduos sólidos urbanos. Para tanto, foi apresentado o desenvolvimento, a validação e a utilização de um modelo de simulação computacional, o qual tem o propósito de auxiliar gestores ambientais no processo decisório no que tange as políticas de reciclagem de resíduos sólidos.

Para a composição do modelo, foram utilizadas variáveis, tais como, a taxa de crescimento natural populacional (nascimentos e mortes), quantidade de resíduos gerada por habitante, percentual de resíduo sólido reciclado (para cada tipo de papel constante no modelo), composição gravimétrica de papel nos resíduos gerados e a economia de energia elétrica e água, bem como a diminuição do corte de árvores decorrentes da reciclagem de papel (no modelo, a economia refere-se a cada tonelada de papel reciclado).

Entende-se que os objetivos do estudo foram alcançados e mostram as vantagens ambientais, sociais e possíveis vantagens econômicas que podem ser alcançadas pela reciclagem de resíduos sólidos. A questão das vantagens econômicas estão diretamente relacionadas ao custo para a efetivação da reciclagem de papel, item não abordado no modelo mas que, conforme salientado no referencial teórico,



esse custo vem decrescendo ao longo do tempo e entende-se que os próprios gestores, a partir do conhecimento dos resultados desse estudo, podem contribuir na proposição de iniciativas que possibilitem a maior viabilidade econômica da reciclagem. Sendo assim, entende-se que os resultados do estudo contribuem para a gestão, sendo fontes de informação para iniciativas que tangem melhorias na coleta seletiva de resíduos sólidos, incentivos à redução de resíduos sólidos, conscientização da população quanto à importância da redução, da reutilização, bem como da reciclagem dos resíduos sólidos. O modelo possibilita propor essas iniciativas viáveis a partir da avaliação dos benefícios relativos à economia de energia elétrica e água, bem como redução do corte de árvores, decorrentes da reciclagem do papel.

Foram descritos no artigo dois cenários, para os quais o modelo foi verificado e validado com o uso de dados de um município da Região Sul. Salienta-se que os cenários foram gerados visando a validação do modelo e que o mesmo é aberto, podendo ser reconfigurado pelos usuários e/ou gestores, com os dados atualizados referentes a cada município e/ou região.

Destaca-se que o cenário otimista retrata mudanças esperadas na população, o aumento crescente da geração de resíduos, bem como o aumento da taxa de reciclagem de cada tipo de papel em 10% no decorrer dos 30 anos simulados. No 30º ano, o cenário otimista alcançaria uma quantidade de papel reciclado, aproximadamente, 45% maior se comparada com o cenário atual.

Quanto à diminuição no corte de árvores decorrente da reciclagem de papel, tem-se uma considerável diminuição do cenário atual para o otimista de, aproximadamente, 25%, se considerado o período de 30 anos. A economia média mensal de água no cenário otimista seria de 29 milhões de litros de água e o cenário atual alcançaria um valor também considerável, de aproximadamente 23 milhões de litros de água. Já, a redução de energia elétrica no cenário otimista traz o valor de 1.851,7MW/h, sendo essa a economia média mensal em 30 anos, sendo que o cenário atual alcançaria o valor de 1.475,1MW/h. Esses resultados, a cima de tudo, denotam que, mesmo com mudanças simples que tragam o aumento da reciclagem de resíduos sólidos, é possível alcançar resultados positivos quanto à economia de água, energia elétrica e redução do corte de árvores, resultados que são progressivamente melhorados conforme há maior envolvimento da população em prol das questões que envolvem a reciclagem de papel.

Tendo tais resultados satisfatórios no presente estudo, destaca-se a importância de outros estudos relativos à reciclagem, compostagem e reuso de resíduos sólidos, os quais poderão contribuir para a tomada de decisões quanto às iniciativas mais relevantes no que tange a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

9. REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2012), “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil”, Vol.1, No1, Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm (Acesso em 20 de novembro de 2013).

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (2008), Análise comparativa do desempenho de fábricas de celulose 2007, Estudo Piloto, Curitiba, PR.

BBC Brasil (2013), “Apesar de estádios ‘sustentáveis’, cidades-sede da Copa ainda reciclam pouco”, disponível em: <http://www.polis.org.br/uploads/1931/1931.pdf> (Acesso em 12 de dezembro de 2013).

BRACELPA (2011), “Relatório estatístico”, disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2010.pdf> (Acesso em 05 de dezembro de 2013).

BRACELPA (2012), “Relatório estatístico”, disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2011.pdf> (Acesso em 05 de dezembro de 2013).

BRACELPA (2013), “Dados do setor”, disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf> (Acesso em 02 de dezembro de 2013)

CEMPRE (2010), “Coleta seletiva. 2010”, disponível em: http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php (Acesso em 15 de dezembro de 2013).

Daellenbach, H. G. e McNickle, D.C. (2005), Decision making through systems thinking, Palgrave Macmillan, London.

Elkington, J. (2004), “Enter the triple bottom line”. Em: Henriques, A.; Richardson, J. (Eds), *The triple bottom line, does it all add up? Assessing the sustainability of business and CSR*, Earthscan Publications Ltd, London, pp. 1-16.

EPA (2013), “Paper Recycling”, disponível em: <http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/paper/basics/index.htm> (Acesso em 05 de dezembro de 2013).

Ford, A. (2009), Modeling the Environment, Island Press. Washington, DC.

Governo do estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente (2011), “Cadernos de educação ambiental, guia pedagógico do lixo”, disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/sma/12-GuiaPedagogicodoLixo.pdf> (Acesso em 10 de dezembro de 2013).

IBGE (2010a), “Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008”, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default>.



shtm (Acesso em 20 de novembro de 2013).

IBGE (2010b), "Censo 2010", disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br> (Acesso em 05 de novembro de 2013).

Law, A.M. e Kelton, W.D (1991), *Simulation Modeling & Analysis*, 2a Ed., McGraw-Hill. New York.

Mansvelt, J. (2010), *Green Consumerism: An A-to-Z Guide*, SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.

Mascarenhas, M. P., Silva, W. A. C. (2013), "Triple Bottom Line da Sustentabilidade: Uma análise em empresas nacionais produtoras de óleos e gorduras". *REUNIR*, vol. 3, nº 1, Jan./Abr., pp. 62-79.

Ministério do Meio Ambiente (2011), "Plano Nacional de Resíduos Sólidos", disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf (Acesso em 02 de dezembro de 2013).

Monteiro, J.H.P *et al.* (2001), *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, IBAM. Rio de Janeiro.

Netto, A. (2001), "O Desperdício do Lixo", *Jornal Zero Hora*, 09 de setembro de 2001, p. 32.

VENSIM – Ventana Systems (2012), "Vensim Simulation Software", disponível em: <http://www.vensim.com> (Acesso em agosto de 2012).

Waste Management (2013), "Recycling Facts and Tips", disponível em: <http://www.wm.com/location/california/north-valley/willows/facts.jsp> (Acesso em 28 de novembro de 2013).

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development (2004), *Towards a sustainable paper cycle*, Genebra, Suíça il., 31p.