

ANÁLISE DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) ATRAVÉS DE SISTEMAS DINÂMICOS

Gabriel Nocito Miquelino Cunha

Aluno de Graduação da Engenharia de Produção, 9º período, UFRJ
Período PIBIC/CETEM: Abril de 2012 a julho de 2012 gabriel_nocito@poli.ufrj.br

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Orientador, Eng. Industrial, M. Sc.

flima@cetem.gov.br

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem dos resíduos da construção e demolição (RCD) no Brasil é incipiente, chegando a menos de 10% do total gerado. As empresas que a realizam, na sua maioria, pertencem ao serviço público de coleta dos resíduos sólidos das cidades, tendo como objetivos o saneamento ambiental e aspectos sociais como o trabalho em conjunto com as cooperativas de catadores. Mesmo com a Lei 12305 de 2010 dos resíduos sólidos, nestas condições, ainda são poucas as firmas privadas com rentabilidade e dinâmicas empresariais. O gerenciamento dos resíduos compreende um conjunto de atividades desde a redução da geração do RCD, sua coleta, seu reuso, reciclagem e o descarte, que apresentam custos determinados para cada fluxo bem como para a armazenagem destes materiais. A fração mineral destes resíduos, após processamento adequado, constituem os agregados reciclados, que complementam a oferta do mercado de agregados, além de reduzir a pressão sobre os estoques de brita e areia naturais.

2 OBJETIVOS

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo baseado em Sistemas Dinâmicos que demonstre estas interações e complexidade das atividades do gerenciamento de RCD, bem como uma análise do custo-benefício entre três diferentes cenários de preço de entrada (*gate fee*) na planta de reciclagem que possibilitem a melhor viabilidade econômica destes projetos. Foi proposto um modelo para uma cidade de médio porte que, em uma determinada condição de mercado, permite analisar o impacto da variação da taxa de entrada através de um software de simulação *iThink*.

3 METODOLOGIA

O uso de sistemas dinâmicos foi introduzido por Jay Forrester em 1958 no MIT. Permite analisar o comportamento e inter-relações das variáveis de um sistema de maneira dinâmica, através do princípio de causa-efeito, em função do tempo. Há variáveis que se comportam como estoques, fluxos, conectores e conversores. Segundo Yuan et al (2010), o software *iThink* é uma ferramenta para estruturação de processos ou estratégias associadas dinamicamente, muito aplicável no setor de construção. Possui uma interface de simples compreensão, possibilitando a criação de ciclos “virtuosos” ou “viciosos” para o sistema, bem como o uso de gráficos para simulação de cenários.

Para a análise foram consultados dados operacionais e financeiros relativos a plantas de reciclagem e construtoras no Brasil, principalmente de Americana, SP e Macaé, RJ. Foi realizada também uma revisão bibliográfica sobre análises de custo-benefício no setor de reciclagem, principalmente na China.

4 O MODELO

A estrutura do modelo proposto é representada na Figura 1:

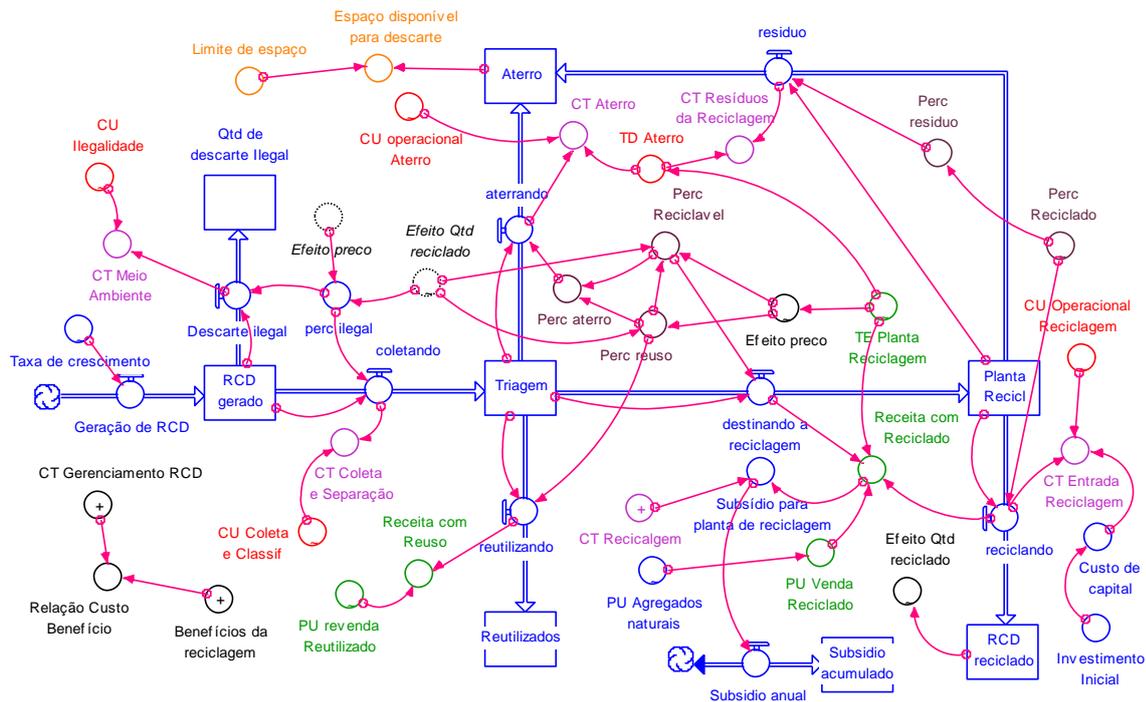


Figura 1 - Modelo dinâmico proposto para a cadeia de RCD

Neste modelo foram considerados três fases do gerenciamento do RCD levando em conta um horizonte de planejamento de 20 anos: 1)Geração do resíduo na cidade; 2)Coleta, separação e classificação do RCD; 3)Descarte final do RCD.

Os resíduos são gerados a partir de construções, demolições e reformas nas cidades, que em média geram 0,5t/hab.ano. Em uma cidade de médio porte, com 240 mil habitantes, estima-se uma geração de 120 mil toneladas por ano. O RCD gerado é coletado nos locais de geração e transportados a uma triagem onde serão separados em três frações: fração que será reutilizada; fração que será descartada em aterros, com contaminantes (gesso e amianto) acima do permitido; e por último a fração a ser classificada e reciclada. Em cada operação teremos os custos em infraestrutura (depósitos, estradas, instalações de recebimento com balança, construções da estação), transporte (caminhões, caçambas e pás carregadeiras) e mão de obra (catadores, operadores de máquinas, pessoal de escritório entre outros). Todas as variáveis e seus valores ao longo dos 20 anos analisados estão representados na Tabela 1.

Tanto o percentual de descarte ilegal quanto os percentuais que serão levados aos três destinos são influenciados pelos valores da taxa de entrada na planta de reciclagem e pelo volume de RCD sendo reciclado. Quanto mais é reciclado na cidade e/ou menor a taxa de entrada, mais estímulo outros geradores terão para reciclar seus resíduos e coletá-los corretamente. A combinação dos dois efeitos causa o impacto geral nos percentuais, equacionados a partir dos dados de entrevistas e visitas a plantas no Brasil.

Cenários:

Foram considerados três cenários: o primeiro com a taxa de entrada na planta de reciclagem fixa em R\$4,00/t, o segundo em R\$8,00/t e o último, em R\$ 12,00/t.

Tabela 1 - Resumo das premissas do modelo

Dados de entrada		Unidade	Valores	Obs
Do sistema		Abreviatura		
Taxa de geração de RCD	Geração de RCD	ton/ano	função	média de 120mil
Limite de espaço no aterro	Limite de espaço	ton	875000	fixo nos 20 anos
Taxa de crescimento	-	%/ano	função	média de 4%
Preço de revenda de reutilizados	PU revenda Reutilizados	R\$/ton	10->13	aumento nos 20 anos
Preço dos agregados naturais	PU agregados naturais	R\$/ton	35->41	aumento nos 20 anos
Preço de venda de reciclados	PU venda reciclados	R\$/ton	função	70% do valor dos naturais
Taxa de descarte no aterro	TD Aterro	R\$/ton	função	TD Plant Rec +1
Investimento Inicial	-	R\$	10milhões	terreno+equip+construção
Taxa de entrada na Planta de Recic.	TE Planta Reciclagem	R\$/ton	variável	em análise
Proporções				
de ilegalidade	Perc ilegal	%	função	combinação dos 2 efeitos
destinado ao aterro	Perc aterro	%	função	1-pec aterro-perc reciclavel
reutilizado	perc reuso	%	função	combinação dos 2 efeitos
reciclavel	perc reciclavel	%	função	combinação dos 2 efeitos
reciclado	perc reciclado	%	85->95	aumento nos 20 anos
Custos Unitários				
Operações				
Ilegalidade(Meio Ambiente)	CU Ilegalidade	R\$/ton	70->90	aumento nos 20 anos
Coleta e Separação	CU Coleta e Separação	R\$/ton	7->9	aumento nos 20 anos
Reciclagem(Operacional)	CU Operacional Reciclagem	R\$/ton	17->19	aumento nos 20 anos
Reciclagem(Capital)	Custo de capital	R\$/ano	943929	Pgto anual do Inv.Inic. a 6%aa

A análise de custo-benefício será a diferença entre os benefícios e custos de se gerenciar e controlar o RCD na cidade. É a variável do modelo que mostrará se é válido promover e incentivar a reciclagem na cidade, caso seja positiva, ou não, caso negativa. Sua fórmula, adaptada de Zhao et al(2011), é representada a seguir ([benefícios] – [custos]) na Equação1:

$$\begin{aligned}
 & [(destinando\ a\ reciclagem + reutilizando) * (TD\ Aterro) + (reciclando + reutilizando) * PU \\
 & Agregados\ naturais + Receita\ com\ Reciclado + Receita\ com\ Reuso] - [CT\ Coleta\ e\ Separação \\
 & + CT\ Aterro + CU\ Operacional\ Reciclagem * reciclando + TE\ Planta\ Reciclagem * destinando \\
 & a\ reciclagem + CT\ Resíduos\ da\ Reciclagem + Subsídio\ para\ planta\ de\ reciclagem]
 \end{aligned} \quad (1)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de simulados os cenários, percebeu-se que a reciclagem trará continuamente muito mais benefícios do que custos. Como visto na Figura 2a, a relação custo benefício é crescente nos três cenários, sendo o primeiro o mais benéfico.

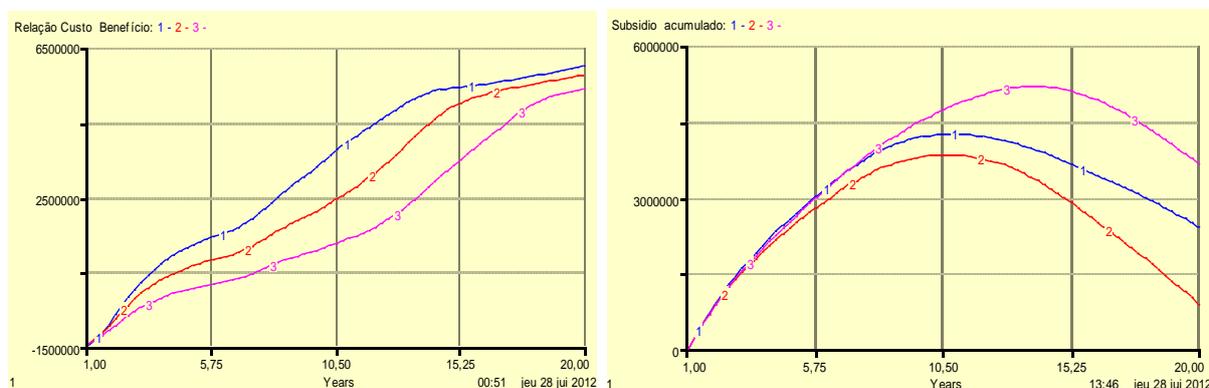


Figura 2 – Simulado do custo-benefício (a) e subsídio acumulado (b) para os três cenários

Outra conclusão foi relativa à quantidade total de subsídio que a planta recicladora precisará para cobrir seus custos, visto na Figura 2b. Pode ser visto também na Figura 3a que quanto maior a taxa cobrada, maior será o custo com a poluição ao meio ambiente. Além disso, a 3b evidencia que menor será o tempo de vida dos aterros, que se esgota no cenário 3. Neste caso haverá novas demandas por áreas de descarte na cidade, elevando o custo para o governo.

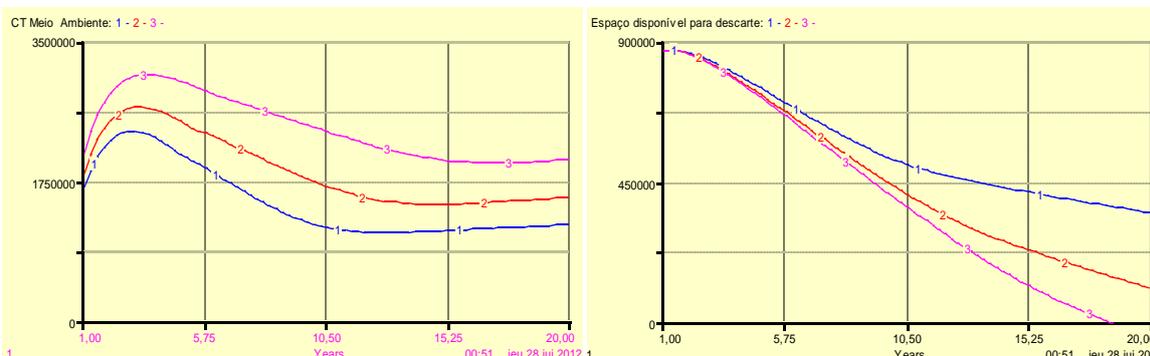


Figura 3 - Simulação do custo total ao meio ambiente(a) e o espaço disponível para descarte(b)

O menos custoso para o serviço público de limpeza, portanto, é o cenário 2, com a taxa de R\$8,00/t. Percebe-se na Figura 2b que a partir do décimo ano, haverá declínio nas curvas de subsídios. Isso acontece devido ao estímulo cada vez maior à reciclagem com o aumento da quantidade reciclada. Nesta fase, a planta começará a gerar mais receita do que custos, devolvendo ao governo os subsídios recebidos, mas não o suficiente para pagar o empreendimento, onde cada cenário acumulará os subsídios recebidos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Subsídio total após 20 anos para cada cenário

Taxa de Entrada	Cenário	Subsídio acumulado final
R\$4,00/t	1	R\$ 2 419 534,00
R\$8,00/t	2	R\$ 873 276,00
R\$12,00/t	3	R\$ 3 666 648,00

A diferença nas curvas de subsídios pode ser explicada pelo maior percentual reciclado e menor ilegalidade conforme a taxa de entrada cobrada é mais baixa, mas em contrapartida é gerada uma menor receita para a planta. Portanto, apesar do cenário 1 apresentar melhor custo benefício, o cenário 2 é o que necessita de menos subsídios do Serviço Público. E diante da nova política de resíduos sólidos (Lei 12305 de 2010), será ainda necessário equacionar a maneira como a indústria da construção civil arcará com esses subsídios, visto que a política do poluidor-pagador é um princípio desta lei.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Mestre Francisco Mariano, meu orientador, por ter me aceitado como bolsista, pelo convívio e pela troca de ideias. Aos professores Régis Motta e Amarildo Fernandes, pela ajuda com a modelagem. À minha família. Ao CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- YUAN, H.P., SHEN, L.Y., HAO, J.J.L., A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, p.604-612, 2010.
- ZHAO,W., REN, H., ROTTER, V.S., A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center – The case of Chongqing, China. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, p.933-944, 2011