

MODELO CLSP MODIFICADO PARA OPORTUNIDADES DE VENDA A PARTIR DE ESTOQUES – ESTUDO DE CASO EM COOPERATIVA DE SOROCABA - SP.

Felipe Sanches Stark

Mestrando em Engenharia de Produção do PPGEPS (UFSCar)

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba

Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264, Itinga CEP 18052-780 - Sorocaba, SP - Brasil

lipestar@hotmail.com

RESUMO

A partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos, as cooperativas de reciclagem tornaram-se instrumentos vitais para o efetivo gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. A reciclagem é um primeiro passo para a redução dos impactos negativos das atividades humanas, e tem se mostrado uma opção ambientalmente melhor aos tradicionais sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos, contudo as cooperativas devem ser auxiliadas na busca pela melhor eficiência e independência financeira. Neste estudo um modelo de planejamento da produção capacitado (CLSP), do estudo de Quadt e Kuhn (2008), é modificado para as características de uma cooperativa de Sorocaba – SP. As modificações envolvem o acréscimo de um estoque de oportunidade semelhante ao desconto por quantidade adquirida e um limite inferior para a renda média dos cooperados. Tal modelo deve proporcionar um apoio à decisão sobre o quanto e por quanto tempo estocar, ainda, sobre níveis ideais de estoque para o planejamento de galpões.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo capacitado de dimensionamento de lotes, cooperativa de reciclagem, planejamento da produção.

AD&GP - PO na Administração & Gestão da Produção; IND - PO na Indústria.

ABSTRACT

Since promulgation of National Solid Waste in 2010, recycling cooperatives have become vital tools for effective management of municipal solid waste. Recycling is a first step towards reducing the negative impacts of human activities, and has shown a better environmentally option than traditional systems for collecting solid waste, however cooperatives should be assisted in the search for greater efficiency and financial independence from municipal power. In this study a Capacited Lot-Sizing Problem (CLSP), present in Quadt and Kuhn (2008), is modified to the characteristics of a recycling cooperative in Sorocaba - SP. The modifications involve the addition of a stock similar to the quantity discount gained opportunity and a lower limit for the average income of the cooperative. Such a model should provide a decision support on how much and for how long, still, stock up on inventory levels ideal for planning sheds.

KEYWORDS: Capacited Lot-sizing Problem (CLSP), recycling cooperative, production planning.

AD & GP - OR in Administration & Production Management; IND - OR in Industry.

1. Introdução.

O problema capacitado de dimensionamento de lotes ou *Capacited Lot-Sizing Problem* (CLSP) é um dos problemas clássicos presentes na literatura de Pesquisa Operacional (PO) voltada para o Planejamento e Controle da Produção. Este tem como principal característica a consideração das capacidades e limitações produtivas, sendo possível incluir extensões para aplicação em uma ampla gama de sistemas produtivos.

Entretanto, esta utilização dos modelos de auxílio à decisão tem maior atratividade em empresas de classe mundial. Em sistemas mais simples do ponto de vista de atuação econômica e comercial, como as cooperativas, este paradigma das empresas de ponta poderia configurar como uma realidade a partir da popularização de equipamentos de tecnologia da informação (TI) e computadores, cada vez mais potentes e com menores custos, além da necessidade da propagação do uso do conhecimento científico. Um início para esta aplicação das ferramentas de PO pode estar nos modelos clássicos de CLSP, que permitem o tratamento de cenários e com isso *insights* para o planejamento estratégico, como aumento da capacidade de estoque e necessidade de outros recursos que representem gargalos no sistema.

Ademais das melhorias econômicas como um motivador para o ambiente estudado, a partir da promulgação da Lei nº 12.305 “*Política Nacional de Resíduos Sólidos*” e do surgimento da responsabilidade compartilhada pelos resíduos sólidos urbanos, as parcerias técnicas devem começar a figurar com maior intensidade no gerenciamento dos diversos atores público-privado envolvidos no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, dentre os quais, estão às cooperativas com seu aspecto socioeconômico e serviços ambientais prestados.

As cooperativas têm funcionalidades bem diferenciadas de empresas convencionais, muitas vezes a renda obtida com o material vendido é unicamente destinada aos cooperados e tanto a infraestrutura quanto outros custos fixos são pagos pelo poder público mediante parcerias. Outras características são o uso intensivo de mão de obra e processos de beneficiamento simples (como a separação e a compactação).

Deste modo, este estudo pretende utilizar-se de conceitos de modelos CLSP para o gerenciamento de estoques com custos de oportunidades (vender em maior quantidade e assim conseguir melhor preço) e também com um balanceamento da renda ao longo do tempo, uma vez que os cooperados devem ter salários próximos de valores médios conhecidos.

2. Revisão Bibliográfica.

A revisão englobou análise de artigos sobre CLSP e suas possíveis extensões. Em seguida, uma busca em trabalhos sobre gerenciamento de resíduos sólidos (sobretudo em cooperativas ou setor informal) com foco qualitativo e quantitativo; por fim, uma breve revisão da coleta seletiva no país e a apresentação do caso para contextualização.

2.1. *Capacited Lot-Sizing Problem* (CLSP).

O trabalho teórico de Lotfi e Chen (1991) apresenta as características básicas do CLSP e propõem algumas propriedades matemáticas e testes computacionais para verificação da *otimalidade*. Os autores citam que tais problemas de planejamento são clássicos e de grande atenção tanto no campo científico quando na indústria. O estudo trás também outros pontos de vista acerca do CLSP, como observar o modelo sob o ponto de vista de um modelo de transporte e as dificuldades computacionais envolvidas na obtenção de uma solução ótima, sobretudo em grandes instâncias.

Na revisão de Quadt e Kuhn (2008) sobre o CLSP, os autores apresentam algumas extensões possíveis deste. Citam como principais características do modelo clássico:

- *Big-bucket* - planejamento em períodos grandes sem detalhamento, como sequencia produtiva;
- *Segmentação discreta dos períodos*;
- *Demanda conhecida (determinística)*.

Nas modificações do modelo, o estudo apresenta: máquinas em paralelo, *back orders*, *setup carry over* e decisões de sequenciamento. Apesar de serem diferentes das extensões

propostas no presente estudo, a inserção destas e as modificações necessárias são importantes para verificar o como e o que é possível modificar sem que haja perda da característica principal do modelo (o que, quanto e quando produzir, ou no presente caso o quanto estocar).

Já próximo ao presente estudo, o trabalho de Haugen, Olstad e Pettersen (2007), apresenta um modelo de “*profit maximizing capacited lot-size (PCLSP)*”, com objetivo da maximização de lucros. De fato esta maximização de lucros é proposta para que seja possível estudar as alternativas do ambiente produtivo, como por exemplo, a expansão da capacidade de produção ou o uso do *backlogging* (pedidos em espera).

2.2. Gerenciamento de Resíduos, Coleta Seletiva e as Cooperativas.

Nos países em desenvolvimento, segundo Wilson et al. (2008), a maior parte da coleta para reciclagem é realizada pelo setor informal, fundamentado exclusivamente na venda dos materiais recuperados para sua sobrevivência, ou seja, a venda é o processo prioritário, uma vez que o setor informal não consegue contemplar etapas de beneficiamento, como lavagem, compactação e trituração, por exemplo.

Nos estudos quantitativos, a revisão com o assunto de reciclagem e recuperação de materiais resultou em estudos na área de logística reversa (Lu, Qi e Liu, 2013), análises de casos e estudos exploratórios acerca da reciclagem e o setor informal (Medina, 2000; Wilson et al., 2008) ou conceituais e empíricos que evidenciam diversas características possíveis nos sistemas de reciclagem (Suttibak, Nitivattananon, 2008; Troschinetz, Mihelcic, 2008; Bohm et al, 2010), contudo nenhum destes focou o estudo em uma cooperativa de reciclagem como sistema de produção ou em um modelo de planejamento produtivo voltado para estoques ou renda destas.

De modo geral, nos estudos pesquisados na área quantitativa, o assunto surge na busca de soluções técnicas e da pesquisa acadêmica acerca do fenômeno de gestão ambiental e sustentabilidade, e consequentemente os impactos dessa mudança para soluções ecologicamente corretas sem perda da viabilidade econômica em ambientes mais amplos como, por exemplo, na coleta municipal de resíduos sólidos. Desta maneira, apresentam base para aplicação nos ambientes das cooperativas, mesmo sem trata-las explicitamente, uma vez que cooperativas podem decorrer de iniciativas informais, caso do presente estudo.

2.3. Cenário Brasileiro da Reciclagem.

Desde 1994 até 2012, o número de municípios com alguma iniciativa de coleta seletiva tem aumentado, contando no último ano do levantamento do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE) com 766 municípios, ou 14% do total nacional (CEMPRE, 2012). O método prioritário em 88% dos municípios é o chamado de *Porta-a-Porta* (CEMPRE, 2012), este permite coletar em regiões dispersas, entretanto pode ter uma eficiência reduzida, especialmente em relação ao custo da coleta. Também esta é realizada por coletores informais, reduzindo também a capacidade de barganha no preço de venda dos materiais.

Segundo a CEMPRE (2012), o valor médio da coleta regular é de US\$ 47,50 por tonelada, já o custo da coleta seletiva em US\$/tonelada em 2012 foi aproximadamente 4,5 vezes maior. Com os custos da coleta seletiva maiores em relação aos da coleta convencional, há uma percepção de que tais sistemas podem oferecer boas oportunidades de aplicação de modelos de auxílio à decisão para redução de custos. Em conjunto com a revisão do item 2.2., uma síntese do setor da reciclagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil é: está em crescimento tanto na parte da demanda (aumento na geração de resíduos) quanto na porcentagem de resíduos reciclados, apresenta alta participação da coleta informal (conhecida como *porta-a-porta*), contudo, verifica-se o aumento da modalidade de estruturação foco deste estudo, as cooperativas de reciclagem.

3. Descrição do problema: Caso da Cooperativa de Reciclagem, Sorocaba – SP.

A cooperativa de reciclagem atua no “Centro de Reciclagem da Zona Leste” presente no município de Sorocaba-SP. No período de coleta dos dados deste estudo (Agosto de 2011 a

Janeiro de 2012), a cooperativa tinha participação de 30% do total de pontos atendidos no município pelas três cooperativas presentes, somando um total de 6404 pontos (entre casas e estabelecimentos públicos e privados).

No caso das cooperativas de Sorocaba – SP, os custos referentes ao galpão, contas diversas e eventuais custos com aquisição de veículos e combustível são pertinentes ao poder público municipal, já a cooperativa tem o valor revertido do que é ganho com a venda do material destinado ao salário dos cooperados. Deste modo não há custos fixos a serem colocados no montante de materiais vendidos; as etapas principais são: coleta, manuseio, separação, estocagem temporária e venda dos materiais já separados e alguns beneficiados (como plásticos compactados). As operações da Cooperativa estão simplificadas no fluxograma a seguir (Figura 1).

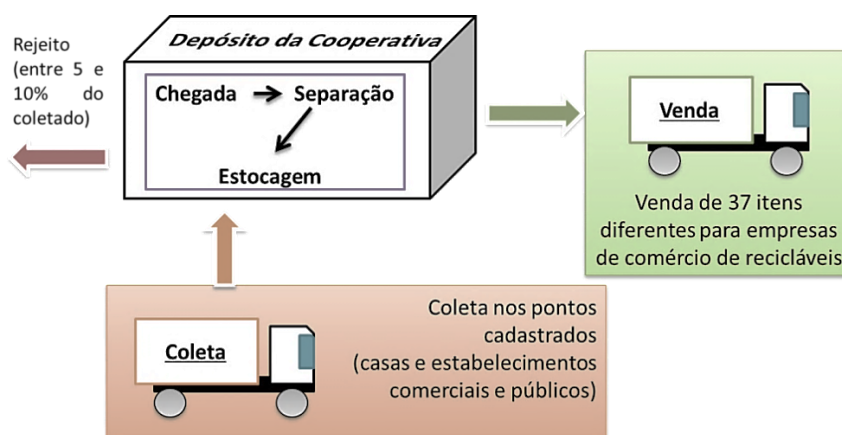


Figura 1. Fluxo simplificado de materiais e operações envolvidas na Cooperativa.

A cooperativa negocia com compradores intermediários às empresas de reciclagem, e segundo o administrador desta, poderia haver maior ganho caso a venda pudesse ser feita diretamente. Desta maneira, o modelo deste trabalho estuda o estoque para a venda em oportunidade para empresas maiores, resultando em melhores preços de venda e consequentemente renda total maior por unidade de peso de material.

Todavia dois pontos são levantados como possíveis entraves na aplicação dos estoques em oportunidade sem o devido planejamento:

- Como a renda dos funcionários depende exclusivamente do valor obtido mensalmente com as vendas de materiais, o sistema não pode simplesmente estocar sem um planejamento devido, pois anomalias como pouca renda em um mês e muita em outro causaria problemas aos gastos fixos (aluguel, luz, água, etc) dos cooperados;
- Em consequência do surgimento dos estoques, diversos fatores podem representar riscos a estes, como depreciação do material, tanto com relação às propriedades físicas (como oxidação de metais ou umidade em papéis) quanto financeira (por exemplo, conforme nos informou o administrador, durante a crise mundial de 2008 alguns itens tiveram seus preços reduzidos drasticamente e em alguns casos chegaram a até 25% do valor original de venda).

Com base nestas considerações e na possibilidade de estocar-se o material, partiu-se para a modelagem do planejamento mensal da cooperativa.

3.1. Modelagem matemática do problema.

Os dados necessários para o modelo foram obtidos com o administrador da cooperativa no período de Agosto de 2011 até Janeiro de 2012. Os principais parâmetros coletados com a administração no período foram: *Preço de venda dos materiais coletados*; *Coleta mensal* e *Número de funcionários*.

Considerou-se que toda quantidade de material coletada pode ser processada, e há um estoque limite para os materiais, com densidade baseada no trabalho de Silva e Santos (2010) para resíduos sólidos urbanos. Tais densidades são valores superestimados (a massa ocupa um valor maior do que no cenário da cooperativa), pois há resíduos sólidos que não passaram por processo de compactação, como feita em embalagens de Tetra Pak™ ou plásticos no geral.

O estoque do depósito foi estimado com relação ao galpão principal que possui 90 x 25 metros de área útil, sendo que metade reserva-se à esteira para separação, mais uma parte para área de descanso e altura de empilhamento máximo de 2 metros, assim considerou-se um volume de 75 x 12 x 2 metros (ou 1800 m³) para limitar o estoque em cada período.

Deste modo, a capacidade de coleta considerada foi estimada de modo análogo ao da capacidade produtiva. No modelo a coleta é aleatorizada por distribuição normal no intervalo dos meses de 2011-2012, todavia este valor obtido foi mantido igual para o teste com todos os cenários propostos, ou seja, o valor muda nos períodos, mas foi fixado entre os cenários para possíveis comparações e verificação do comportamento do modelo.

Os preços de venda em oportunidade são testados em cenários com incremento de 5% e 15% sobre o preço normal. Um resultado chamado de base, isto é, sem preços de oportunidades será utilizado para comparação.

O modelo proposto é apresentado a seguir, chamado neste trabalho de *Capacited Lot Sizing with Balanced Inventory and Profit Problem* (CLSBIP):

Índices

- $i = (1, \dots, n)$ Conjunto dos n materiais presentes na cooperativa.
 $t = (1, \dots, T)$ Período pertencente ao horizonte de planejamento com fim em T meses.

Parâmetros

- n_{it} Preço de venda normal do item i no período t .
 C_{it} Quantidade coletada do item i no período t .
 o_{it} Preço de oportunidade do item i no período t .
 L_i Quantidade limite mínima do item i para a venda de oportunidade.
 E_{max} Estoque máximo permitido em volume.
 F Número de funcionários no horizonte de planejamento.
 d_i Densidade do item i (kg/m³)

Variáveis

- Qn_{it} Quantidade vendida do item i no período t com preço normal.
 Qo_{it} Quantidade vendida do item i no período t com preço de oportunidade.
 I_{it} Estoque do item i no fim do período t .
 y_{it} Variável que dispara a venda de oportunidade quando os limites para esta condição são ultrapassados.

$$\text{Max} \quad \sum_t \sum_i^n (n_i Qn_{it} + o_i Qo_{it}) \quad (I)$$

$$I_{it-1} + C_{i,t} = Qn_{it} + Qo_{it} + I_{it} \quad \forall i, t \quad (II)$$

$$L_i \cdot y_{it} \leq I_{it-1} + C_{i,t} \quad \forall i, t \quad (III)$$

$$Qo_{it} \leq M \cdot y_{it} \quad \forall i, t \quad (IV)$$

$$\sum_i^n \frac{1}{d_i} \cdot I_{it} \leq E_{max} \quad \forall i, t \quad (V)$$

$$\frac{\sum_i^n (n_i Q_{nit} + o_i Q_{oit})}{F} \geq S_m \quad \forall t \text{ (VI)}$$

$$I_{it}, Q_{nit}, Q_{oit} \geq 0; y_{it} = \{0, 1\} \quad \text{(VII)}$$

A função *objetivo* (I) visa maximizar o capital total obtido através da soma das variáveis de quantidade de material vendido ao preço normal (Qn) e preço de oportunidade (Qo). A *restrição* (II) trata do balanceamento entre entrada, estoque e saída da cooperativa. A igualdade é entre a quantidade de material em estoque no período anterior ($I_{i, t-1}$) mais a quantidade coletada (C_{it}) com o que foi vendido a preço normal (Qn), de oportunidade (Qo) e quantidade estocada no fim do período atual (I_{it}).

A *restrição* (III) trata da possibilidade de se vender determinada quantidade ao preço de oportunidade. Esta deve ser a quantidade em estoque no início do período ($I_{i, t-1}$) mais a quantidade coletada (C_{it}), e acima de um limite mínimo, isto é, a quantidade mínima (L_i) de um item que permita sua venda por um preço melhor. A *restrição* (IV) libera, através da variável binária (y_{it}), a venda da quantidade de oportunidade (Qo) no período. O M é um valor que seja grande o suficiente para ser maior que o material disponível no período. Não se utilizou os valores de disponibilidade no período t, pois o modelo deixaria seu caráter linear. A *restrição* (V) trata do estoque máximo permitido em cada período t, relacionando a quantidade estocada do item i com sua densidade.

Para evitar que o modelo estocasse material em muitos períodos para venda de oportunidade, um limitante inferior, chamado de salário mínimo médio (S_m) deve ser respeitado na *restrição* (VI). Isto é, garante-se que em cada período no mínimo seja atendido um salário médio para o número de funcionários da cooperativa (F). A somatória, portanto é em relação aos itens em cada período.

Por fim, as restrições de domínio das variáveis expressas nas *restrições* (VII).

4. Experimentos computacionais.

Obteve-se os resultados em um computador portátil Core i7™ 3610QM, com 8 GB DDR3 e Windows 7 64 bits, através de implementação no GAMS versão 24.1.3 (64 bits) e uso do *solver* gratuito CBC. As opções de solução do solver foram *defaults*. Nos testes computacionais 6 cenários de análise (Tabela 1), um padrão (sem estoque de oportunidade) com salário mínimo de 650 unidades monetárias (u.m), um padrão com salário de 1250 u.m; um terceiro e quarto com 5% de acréscimo na venda por oportunidade e 650 u.m e 1250 u.m, e um quinto e sexto com 15% de acréscimo e 650 e 1250 u.m de salário médio. Utilizou-se u.m. em vez do nome da moeda nacional apenas por questão de deixar a discussão dos resultados de modo generalista.

Dois aspectos principais são analisados no tempo, o estoque total e renda média mensal e o arrecadado no ano para os cenários de salário médio de 650 u.m padrão, com 5% e 15% de acréscimo por venda de estoque de oportunidade.

Tabela 1. Variações realizadas dois-a-dois no CLSP modificado para a cooperativa de reciclagem.

Cenário	Venda em oportunidade (% sobre o preço normal)	Renda média mensal (u.m)
1	0	650
2	0	1250
3	5%	650
4	5%	1250
5	15%	650
6	15%	1250

4.1. Discussão dos testes realizados e comportamento do modelo

Os testes (Tabela 1) nos quais se fixou os preços e houve variação nos salários resultaram em duas considerações iniciais sobre o comportamento do modelo:

- Salários com valores de 1250 u.m ou acima tornaram o problema infactível, isso denota a baixa capacidade em prover uma renda fixa alta ao longo do tempo sem que haja aumento da quantidade coletada ou aumento no valor dos produtos vendidos.
- Conforme se aumentou o valor da renda média mensal, partindo do mínimo de 650 u.m, para 1250 u.m, ocorreu perda da renda total, uma vez que menos material pode ser estocado para venda em oportunidade sem comprometer a renda média mensal. Os testes em todos os cenários não demonstraram haver restrições físicas no galpão (se considerado apenas o estoque) para os dados utilizados.

Quando os salários foram fixados (em 650 u.m e posteriormente em 1250 u.m) e alteraram-se os custos de venda em oportunidade de 0 (zero) para 5% e 15% sobre o preço normal verificou-se que:

- Com a possibilidade de venda em oportunidade, houve um decréscimo nos estoques e ocorreu uma estabilidade no nível deste. Por exemplo, em 5% de acréscimo no preço de venda e salário de 650 u.m um valor próximo a 17-18 quilos de material era estocado por mês (somente metais, ao contrário do cenário 1 que estocou diversos tipos de itens). Também foi possível verificar que o **limite de venda em oportunidade** pode estar **subestimado**, pois houve venda em oportunidade em diversos períodos (não presente com frequência na cooperativa).
- Os estoques permaneceram com níveis iguais para os incrementos de 5% e 15%. Desta maneira, percebe-se que enquanto o custo de oportunidade seja maior que zero, para uma mesma renda média mensal, a solução é a mesma para ambos os cenários.

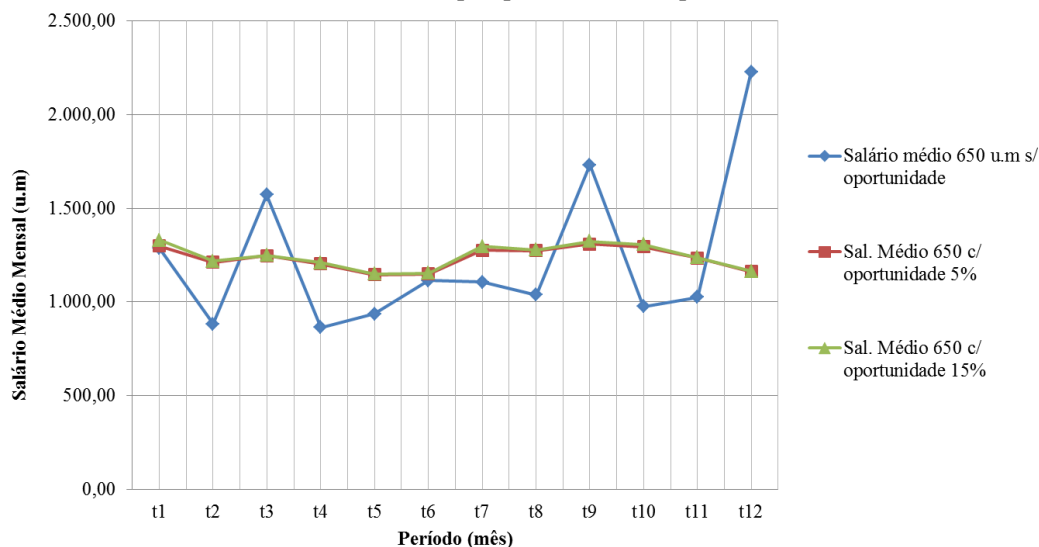
Por tais características apresentadas nos testes, os resultados finais mostrados são referentes apenas aos três primeiros cenários, pois os demais apresentaram infactibilidade (salário médio de no mínimo 1250 u.m).

Verificou-se ainda a necessidade do aumento no limite da quantidade em venda oportunista, pois o limitante possivelmente está subestimado. Espera-se que os estoques ocorram com menor frequência a partir daí, e acrescentou-se 10% ao limite mínimo da quantidade necessária para venda em oportunidade de todos os itens. Após os testes, os resultados foram obtidos novamente a partir das modificações propostas nesta primeira verificação do comportamento do modelo.

5. Resultados finais dos cenários com S_m de 650 u.m e padrão, 5% e 15%.

Os resultados durante o horizonte de planejamento de 12 períodos (12 meses) foram plotados em gráficos para comparação entre os cenários. No primeiro caso, tem-se a venda padrão (sem custo de oportunidade), chamado na discussão de cenário 1; e os custos de venda de oportunidade de 5-15% com salário mínimo de 650 u.m, chamados de cenários 2 e 3. O salário médio obtido na resposta dos três cenários estão no Gráfico 1.

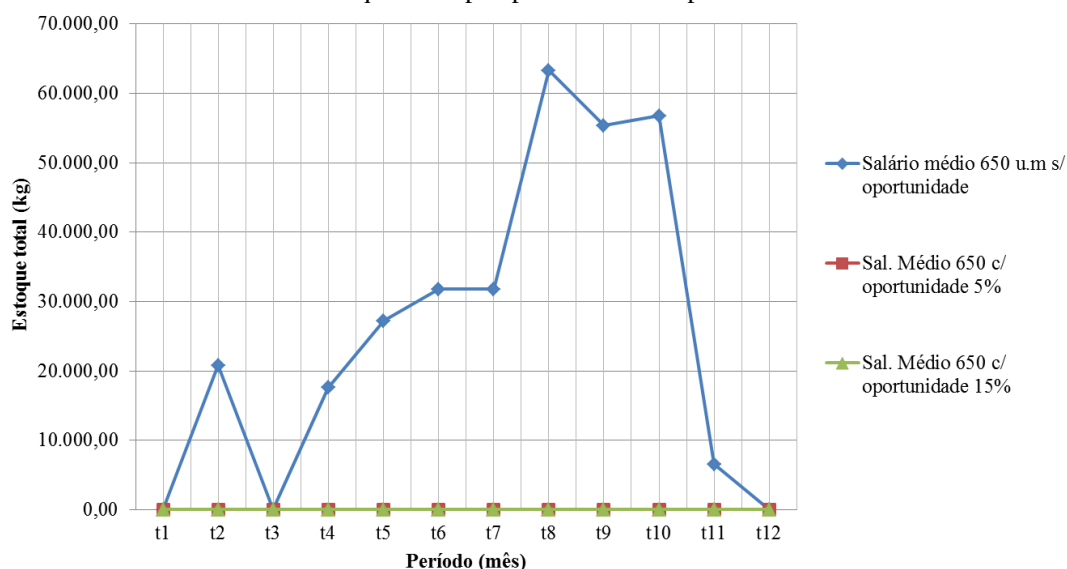
Gráfico 1. Salário médio por período de tempo nos três cenários.



Nota-se que no cenário 1 o salário médio obtido pela resposta tem valores com maior amplitude, com meses nos quais o valor cai abaixo de 1 mil u.m. (t2, t4, t5 e t10) e no último mês passa de 2 mil u.m. Com os preços de oportunidade, o salário permaneceu estável entre 1050 a 1250 u.m. com ganho total maior do que no cenário 1, ou seja, aumentou-se a receita global da cooperativa conforme esperado.

A função objetivo resultou em: 619.897 u.m (cenário 1), 622.082 u.m (cenário 2) e 626.453 u.m (cenário 3). O salário com menor variação temporal pode permitir um planejamento do uso da renda de uma maneira mais sábia tanto para gestão da cooperativa quanto dos próprios cooperados na aquisição de seus bens de consumo. Nos níveis de estoque, os resultados dos três cenários estão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2. Estoque total por período de tempo nos três cenários.



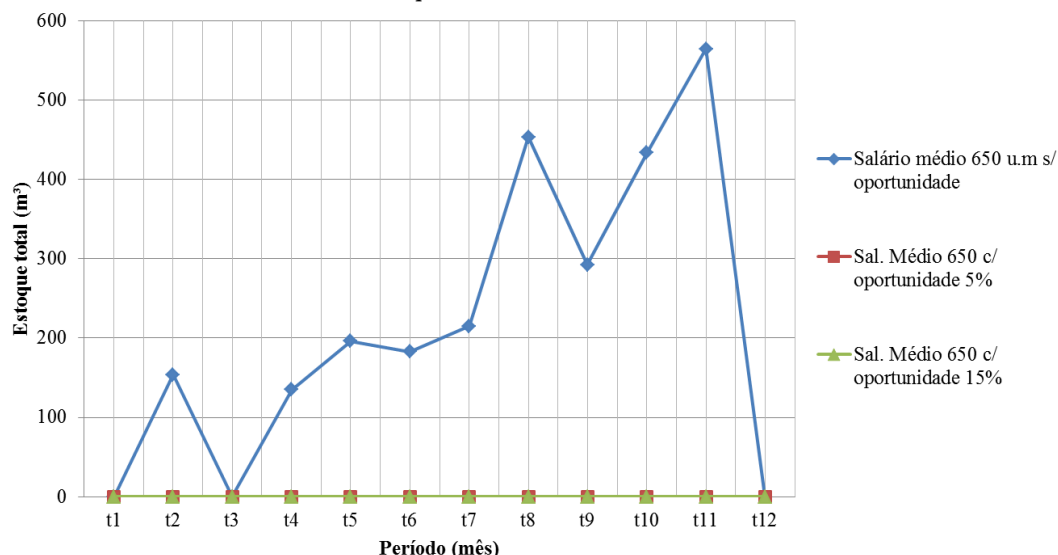
Na comparação dos níveis de estoque, percebe-se que o modelo propôs um alto nível de estoque no cenário 1, ultrapassando as 50 toneladas no intervalo de t8 – t10, por exemplo. Isto ocorreu, pois assim como em alguns problemas nos quais a produção acontece em qualquer período, os estoques foram acumulados para a venda nos períodos finais do horizonte de

planejamento. Sem limitação física ao estocado, os itens estocados puderam ser diversificados, desde papéis até plásticos. No cenário 2 e 3, os baixos estoques foram possíveis (menor que 0,2 m³ ou 200 litros de material estocado) através do armazenamento dos itens mais vantajosos em relação ao preço (metais), por exemplo, o preço de venda de um quilo de alumínio equivale à venda de 10 quilos de papel.

Neste caso, nota-se que a estimativa do limite de venda de oportunidade ainda pode estar subestimada, uma vez que há venda em oportunidade de alguns itens em diversos períodos (mesmo após os testes iniciais realizar-se um acréscimo de 10% no limite). Caso o limite seja muito alto, tornando necessário maior armazenamento, os níveis de estoque em oportunidade deverão crescer até deixar de existir, pois não é possível estocar a quantidade mínima sem infringir o salário médio mensal imposto.

Apenas para comparação quanto aos níveis em relação ao volume (Gráfico 3), nota-se que apenas no cenário 1, os volumes foram significativos. Com a capacidade de armazenamento de 1800 m³ de material, e mesmo com as densidades superestimadas, o maior valor encontrado foi próximo de 550 m³ no período t11 do cenário 1 (menos de um terço do estoque máximo permitido).

Gráfico 3. Estoque total em volume nos três cenários.



6. Conclusões

Este estudo trouxe um modelo CLSP modificado para oportunidade de venda a partir de estoques no ambiente de uma cooperativa de reciclagem. Verificou-se que o modelo com venda de oportunidade permitiu níveis de estoque menores em relação ao CLSP aplicado sem modificações no estoque. Isto ocorreu, pois houve seleção qualitativa dos itens mais interessantes para a estocagem, como metais. Com relação ao ambiente do problema, nota-se que há necessidade de aumento na coleta de material para separação, reciclagem e venda, pois a estocagem não pode ser realizada em tipos diferentes de itens sem comprometer a renda mínima dos cooperados..

Ainda, apesar de ocorrer um aumento no ganho total no horizonte de planejamento (cenário 2 e 3, em relação ao cenário 1) e do nivelamento da renda média dos cooperados, maior atenção deve ser dada nas limitações do uso do modelo, como:

- **Previsão em sistemas de coleta maiores** – após a abertura do centro houve incremento na quantidade de materiais coletados no município, ainda, conforme a população aumenta e há maior sensibilização quanto à separação dos resíduos sólidos, espera-se que o setor de recicláveis torne-se maior e, portanto necessite de respostas condizentes com

este novo cenário. Deste modo, o modelo pode necessitar de inclusões de novas restrições não apresentadas no presente estudo.

- **Coleta das estimativas de volume ocupado no estoque dos itens recém-coletados e já beneficiados** – a determinação real da densidade do material antes e após o beneficiamento (separação e compactação) permitiria a escolha dos itens interessantes ou não para o armazenamento e em qual condição este se daria.
- **Depreciação e riscos dos itens no estoque (como risco de incêndio no caso de papéis e plásticos ou oxidação no caso dos metais)** – determinar tais valores pode reduzir determinados itens no estoque devido ao custo de risco associado a estes itens.
- **Rotatividade de mão-de-obra** – a redução no quadro de cooperados pode resultar em salários médios mensais maiores ou queda na coleta, deste modo é um fator impactante para o modelo.
- **Estimativa de coleta real** - permitindo assim que o modelo tenha melhores resultados para itens nos quais há sazonalidade, como embalagens (papel/papelão/plástico) no período de fim de ano devido aos eventos festivos (informação dada pelo administrador).

Para estudos futuros, trabalhos qualitativos para melhor entendimento do sistema produtivo da cooperativa e também da *implementação* das extensões possíveis sugeridas são sugestões válidas para o desenvolvimento de modelos representativos das cooperativas.

7. Agradecimentos

Agradeço aos docentes da disciplina de Gestão Avançada da Produção, Dr^a. Deisemara Ferreira e Dr^o. Rodolfo F. Teixeira Jr, pelas sugestões dadas durante a elaboração deste estudo.

Referências

- Anghinolfi, D. et al.** (2013), A dynamic optimization model for solid waste recycling. *Waste Management*, v. 33, n. 2, p.287-296.
- Bohm, R. A. et al.** (2010), The costs of municipal waste and recycling programs. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 54, n. 11, p.864-871.
- Diamadopoulos, E.; Koutsantonakis, Y.; Zaglara, V.** (2005), Optimal design of municipal solid waste recycling systems. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 14, n. 1, p.21-34.
- Fleischmann, B.** (1990) The discrete lot-sizing and scheduling problem. *European Journal Of Operational Research*, v. 44, n. 3, p.337-348, fev. 1990.
- Haugen, K. K.; Olstad, A.; Pettersen, B. I.** (2007), The profit maximizing capacitated lot-size (PCLSP) problem. *European Journal Of Operational Research*, v. 176, n. 1, p.165-176.
- Lofti, V.; Chen, W.** (1991), An optimal algorithm for multi-item capacited production planning problem. *European Journal Of Operational Research*, North-holland, v. 52, n. 2, p.179-193, 27.
- Lu, L.; Qi, X.; Liu, Z.** (2013) On the cooperation of recycling operations. *European Journal Of Operational Research*, In Press, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713003202>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- Medina, M.** (2001), Scavenging in America: back to the future? *Resources, Conservation And Recycling*, v. 31, n. 3, p.229-240.
- Pickin, J.** (2008), Representations of environmental concerns in cost-benefit analyses of solid waste recycling. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 53, n. 1-2, p.79-85.
- Quadt, D.; Kuhn, H.** (2008), Capacitated lot-sizing with extensions: a review. *4or*, v. 6, n. 1, p.61-83.
- Scheinberg, A. et al.** (2011), Assessing urban recycling in low- and middle-income countries: Building on modernised mixtures. *Habitat International*, v. 35, n. 2, p.188-198.
- Silva, M. C.; Santos, G. O.** Anais. In: CONGRESSO DA REDE NORTE E NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 5., 2010, Alagoas. Densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados. Alagoas: IFAL, 2010. p. 1 - 5. Disponível em:

<<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/view/167/157>>. Acesso em: 04 nov. 2013.

Suttibak, S.; Nitivattananon, V. (2008), Assessment of factors influencing the performance of solid waste recycling programs. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 53, n. 1-2, p.45-56.

Troschinetz, A. M.; Mihelcic, J. R. (2009), Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, v. 29, n. 2, p.915-923.

Wilson, D. C. et al. (2009), Building recycling rates through the informal sector. *Waste Management*, v. 29, n. 2, p.629-635.