

# **UMA CONTRIBUIÇÃO À MODELAGEM CONCEITUAL DA COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA EM ÁREAS URBANAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

**Ricardo César da Silva Guabiroba<sup>1</sup>**

**Márcio de Almeida D'Agosto<sup>2</sup>**

Departamento de Engenharia de Transporte

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE

Universidade Federal do Rio de Janeiro

## **RESUMO**

A logística direta do óleo vegetal comestível virgem refinado termina com seu consumo. O resíduo gerado, chamado de óleo residual de fritura, é desperdiçado por pequenos e grandes geradores quando descartado no esgoto sanitário. Sendo matéria-prima para a produção de biodiesel, esse resíduo pode ser coletado. O objetivo deste artigo é propor um modelo conceitual de coleta de óleo residual de fritura para a determinação do tipo de problema que envolve essa coleta. O adequado entendimento deste problema contribui para viabilizar o aproveitamento de um resíduo urbano e para minimizar os impactos ambientais decorrentes do seu descarte inadequado. Um caso prático também é analisado para a verificação desse modelo e fornecimento de premissas para a determinação de restrições que podem ser impostas ao modelo conceitual a fim de especificá-lo. Foi constatado que essas restrições variam de acordo com o caso de coleta analisado.

## **ABSTRACT**

Direct logistics of refined virgin edible vegetable oil ends with its consumption. The generated residue, called waste cooking oil, is wasted by large and small generators when it is discarded in the sewerage system. As raw material for biodiesel production, this residue can be collected. The aim of this paper is to propose a conceptual waste cooking oil collecting model to determine the sort of the problem, which involves this collection. A proper understanding of this problem helps to make the use of urban waste feasible and to minimize the environmental impacts from its improper disposal. A case study is also examined to check this model and to provide the premises for the determination of restrictions that can be imposed on the conceptual model to specify it. It was found that these restrictions vary according to the analyzed collecting case.

## **1. INTRODUÇÃO**

O biodiesel é um biocombustível renovável e menos agressivo ao meio ambiente (quanto à emissão de gases de efeito estufa), comparado com o óleo diesel proveniente do petróleo. No Brasil, um aspecto a considerar sobre o biodiesel é a diversidade de matérias-primas existentes para a sua produção. Muitas delas já são utilizadas para outros fins, o que torna difícil a análise e a decisão sobre as matérias-primas mais adequadas para a produção desse biocombustível. Neste contexto, é possível considerar matérias-primas de três origens: cultiváveis, extrativas e residuais, que apresentam custos de suprimento variados (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007).

Enquanto o valor das matérias-primas cultiváveis pode representar até 80% do custo final do biodiesel (IBP/COPPE/COPPEAD, 2007), admite-se que as matérias-primas residuais, enfatizando-se o óleo residual de fritura, podem ser adquiridas até gratuitamente. Esse resíduo é gerado em uma vasta quantidade de locais, principalmente quando se trata de áreas urbanas, após a utilização (consumo) de óleos vegetais comestíveis virgens refinados. São basicamente dois os possíveis destinos para o óleo residual de fritura: (1) esgoto sanitário, causando a poluição da água e onerando seu tratamento, e (2) processadores que transformam o resíduo em um novo produto.

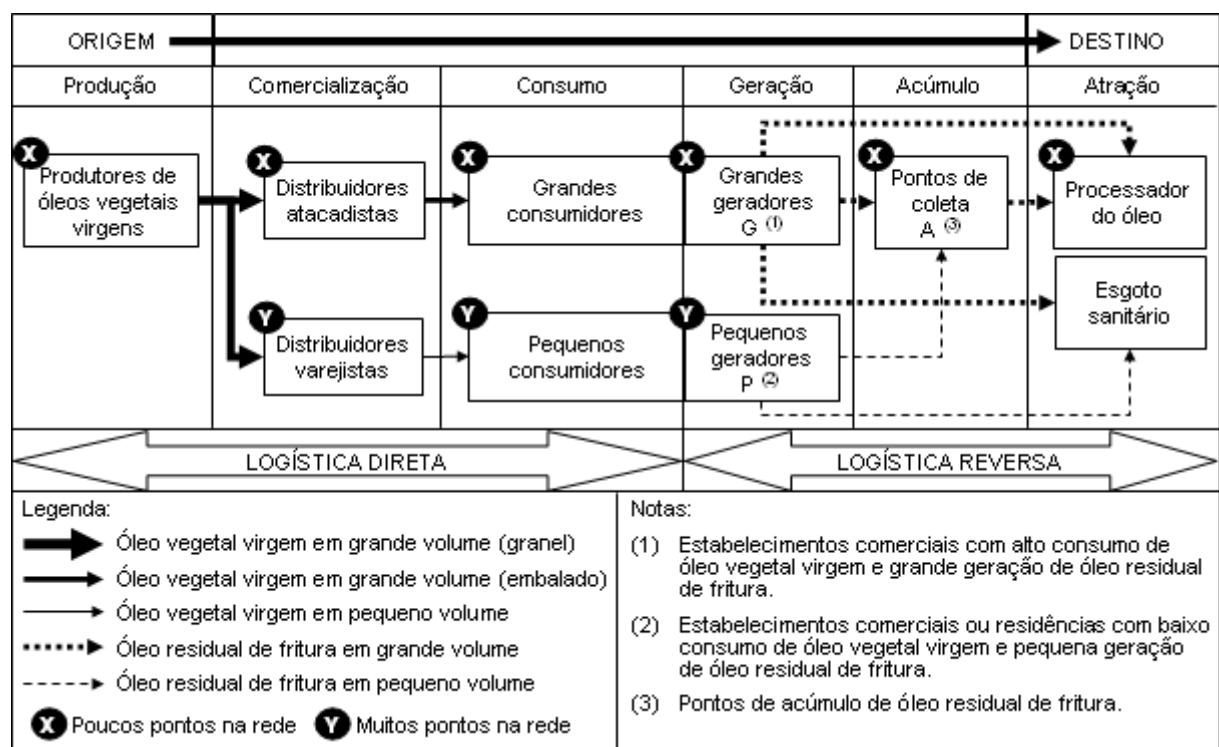
Assim sendo, para evitar que o resíduo seja descartado no esgoto sanitário e, corretamente, seja direcionado para os processadores do óleo, é necessário realizar sua coleta, uma atividade

potencialmente crítica devido à grande quantidade de locais geradores e acumuladores do óleo. Para quem realiza essa coleta, seja uma central que vende o resíduo ou um processador, como uma fábrica de biodiesel, torna-se necessária a realização do processo de coleta de modo otimizado. Para essa otimização, normalmente obtida por meio de uma ferramenta computacional, é indispensável a determinação do(s) tipo(s) de problema(s) que envolve(m) a coleta do óleo residual de fritura.

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo conceitual de coleta de óleo residual de fritura disperso em áreas urbanas para a produção de biodiesel fundamentado na logística (direta e reversa) do óleo vegetal comestível virgem refinado, nas práticas nacionais e internacionais de coleta desse resíduo e nas variantes do problema de roteirização de veículos. Com a análise de um caso prático será possível ratificar o modelo conceitual, bem como definir a(s) variante(s) do problema de roteirização de veículos aderente(s) a um caso específico de coleta encontrado na região metropolitana do Rio de Janeiro, bem como propor outros tipos de aplicação.

## 2. LOGÍSTICA DO ÓLEO VEGETAL COMESTÍVEL VIRGEM REFINADO

A Figura 1 apresenta a logística dos óleos vegetais comestíveis virgens refinados composto por duas etapas. A primeira (1) representa a cadeia logística direta que termina com o consumo do óleo virgem. Já a segunda etapa (2), que aborda a cadeia logística reversa, tem início com a geração do óleo residual de fritura.



Fonte: ABIOVE, 2006 *apud* PROVE, 2007 modificado pelos autores.

**Figura 1:** Cadeias logísticas direta e reversa de óleos vegetais comestíveis virgens refinados.

Na primeira etapa (1), o óleo vegetal comestível virgem refinado é adquirido basicamente por distribuidores atacadistas e varejistas. Os distribuidores atacadistas atendem à demanda de grandes consumidores do óleo virgem, enquanto que os distribuidores varejistas

(supermercados e pequenos estabelecimentos) atendem a pequenos consumidores, como residências e pequenos comércios.

Após o consumo, a etapa da logística reversa (2) tem início. Os grandes consumidores, que geram grandes volumes (grandes geradores), normalmente vendem o resíduo para clientes já estabelecidos no mercado (processadores do óleo, como fábricas de sabão, graxas, detergentes e outros). A coleta desse resíduo, nesse caso, é geralmente efetuada em poucos pontos na rede, pois os geradores oferecem grandes volumes. No entanto, nem todo volume dos grandes geradores é aproveitado. Uma parte ainda é desperdiçada e descartada no esgoto sanitário.

Grande parte do óleo residual de fritura proveniente de pequenos geradores, como residências, também é descartada no esgoto sanitário. O volume, que não é desperdiçado, é enviado para pontos de coleta (que não geram, mas agrupam o resíduo), como associações de moradores, cooperativas populares e órgãos públicos. Esses pontos de coleta fornecem grandes volumes e, como os grandes geradores, são encontrados em pouca quantidade na rede. Os grandes geradores também podem enviar o resíduo para esses pontos que, após o acúmulo, são destinados aos processadores do óleo.

Partindo do princípio que há volume de resíduo sendo descartado no esgoto sanitário, proveniente de pequenos e grandes geradores, pode-se afirmar que esse resíduo ainda não está inserido no mercado. Esta pode ser uma oportunidade para o produtor de biodiesel que estaria consumindo um resíduo ainda não explorado, evitando a concorrência com processadores do óleo já estabelecidos no mercado. A partir da identificação da oportunidade de coleta do resíduo, é necessário conhecer essa prática. Assim sendo, o próximo item apresentará aspectos predominantes de uma seleção de práticas nacionais e internacionais adotadas na coleta de óleo residual de fritura, bem como um modelo conceitual obtido por meio da análise dessas experiências.

### **3. EXPERIÊNCIAS NA COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

Uma das razões para se coletar o óleo residual de fritura é a produção de um biocombustível (biodiesel) a partir desse resíduo urbano que possui uma parcela que é eventualmente descartada no meio-ambiente, conforme discutido no item 2. Com o intuito de compreender essa prática, GUABIROBA e D'AGOSTO (2008) estudaram esse sistema de coleta que compõe a logística reversa do óleo vegetal comestível virgem refinado, conforme Figura 1. Apresentam-se, a seguir, algumas conclusões obtidas pelos autores a partir de uma seleção de experiências nacionais e internacionais.

#### **3.1. Experiências nacionais e internacionais**

Em âmbito nacional, o óleo residual de fritura é predominantemente coletado em pontos de coleta, como escolas, instituições públicas, pontos de ônibus e cooperativas criadas para gerar renda para famílias carentes. No entanto, também há a ocorrência de coletas em grandes geradores, como restaurantes, lanchonetes, estabelecimentos comerciais, vilas e condomínios e pequenos geradores, como residências.

De um modo geral, o fornecedor do resíduo é quem aciona o processo de coleta por meio de contato telefônico após o recipiente de acumulação do resíduo está cheio. Nos locais de estocagem, mantidos por cooperativas, realiza-se o pré-tratamento do óleo, como decantação

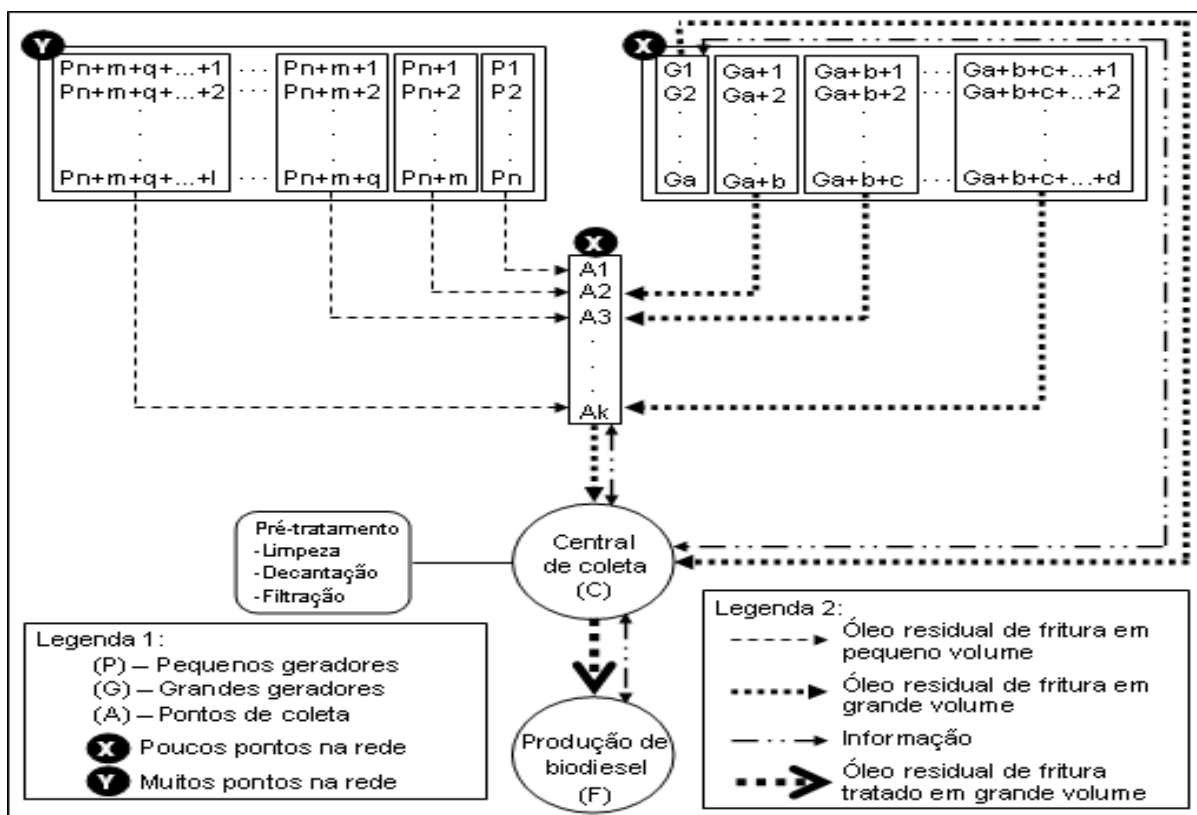
e filtração. O incentivo as doações é obtido por meio de campanhas, gincanas em escolas ou a troca por outros produtos, como óleo de soja virgem e hortifrutigranjeiros.

Em âmbito internacional, foi possível perceber que o óleo residual de fritura é predominantemente coletado em grandes geradores, como restaurantes, hotéis, *pubs*, estabelecimentos de *fast food* ou comerciais. A coleta é realizada, geralmente, por empresas especializadas que costumam efetuar um pré-tratamento do óleo residual de fritura por meio de limpeza, de filtração e de aquecimento.

Geralmente, o processo de coleta é acionado pelo fornecedor que informa por *e-mail* ou telefone que o recipiente de acumulação do resíduo está cheio e à disposição para ser recolhido. O volume coletado varia de localidade para localidade e depende do nível de conscientização dos doadores potenciais e da existência de um sistema de coleta. Na maior parte das experiências internacionais analisadas são realizadas campanhas com apelo ambiental com o intuito de incentivar a doação do resíduo.

### 3.2. Modelo conceitual de coleta de óleo residual de fritura

No item anterior foi possível definir duas situações distintas: (1) coleta predominante em pontos de coleta (experiência nacional) e (2) coleta predominante em grandes geradores (experiência internacional). Na primeira situação, os pontos de coleta podem ser alimentados por pequenos e grandes geradores. Uma terceira situação, apresentada na Figura 2, sugere uma combinação das anteriores com a coleta realizada pela central diretamente nos pontos de coleta (situação 1) e nos grandes geradores (situação 2).

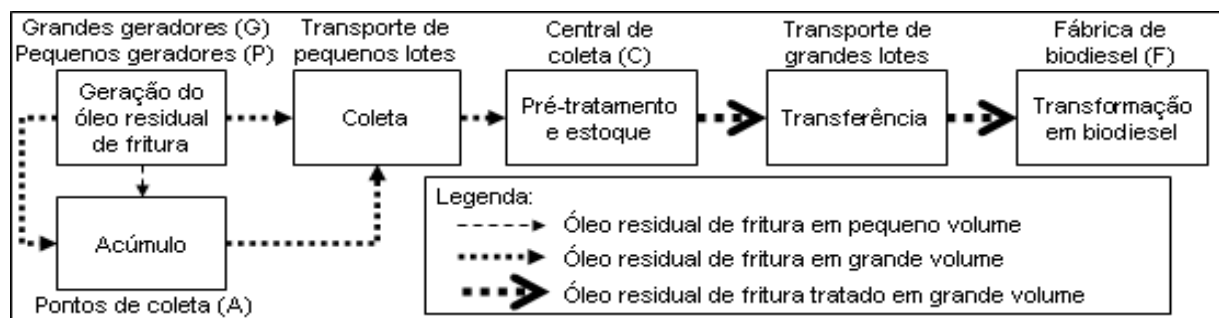


Fonte: adaptado de GUABIROBA e D'AGOSTO (2008).

**Figura 2:** Modelo conceitual da coleta de óleo residual de fritura.

A terceira situação será o objeto deste estudo, pois contempla a combinação de duas práticas. O principal motivo dessa escolha é uma forte tendência, para um futuro próximo, de a prática nacional comportar, não somente a coleta em pontos acumuladores, mas também coletar diretamente em grandes geradores. Isso se deve ao fato do grande apelo ambiental propagado nos meios de comunicação. Outro motivo diz respeito à organização das centrais de coleta compostas por cooperativas criadas em comunidades carentes. Algumas dessas centrais recebem apoio governamental para o melhoramento de suas práticas.

Por meio da Figura 3, pode-se observar um refinamento da etapa de logística reversa, mencionada na Figura 1, considerando as informações apresentadas no modelo conceitual (Figura 2).



Fonte: elaboração própria.

**Figura 3:** Refinamento da logística reversa dos óleos vegetais comestíveis virgens refinados.

O processo inicial trata da geração do resíduo e seu acúmulo em pontos de coleta. O óleo residual de fritura deve, então, ser coletado em grandes geradores e em pontos de coleta (situação 3). Essa etapa é crítica e o problema de coleta será tratado no próximo item. A etapa seguinte é o pré-tratamento e a estocagem do resíduo na central. Após a venda, grandes lotes do resíduo são transportados até a fábrica de biodiesel.

### 3.3. Estudo de caso – aplicação do modelo conceitual

O caso estudado trata-se de uma associação de cooperativas de catadores localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro. Neste artigo, optou-se por não revelar o nome dessa associação que se encontra em um período de crescimento e de padronização de suas práticas. Neste sentido, a sede da associação de cooperativas será chamada de central Alfa de coleta.

A central Alfa, com localização conhecida, coleta o óleo residual de fritura em grandes geradores e em pontos de coleta e o fornece a uma usina de biodiesel, conforme Figura 2. O processo de coleta pode ser dividido em duas etapas: (1) planejamento e (2) operação. A etapa de planejamento tem início com o aviso enviado pelos grandes geradores e pontos de coleta sobre a existência de resíduo a ser coletado e seu volume. Essa etapa leva alguns dias para que de pedidos de coletas sejam acumulados. Seu término acontece na véspera da etapa de operação.

Já a etapa de operação tem início com a partida do veículo que deve visitar todos os pontos indicados para coleta apenas uma vez. Após as visitas, o motorista deve retornar para a central. A estrutura de rede de pontos visitada é chamada de grafo  $G=(V,E)$ , onde  $V=\{u_0, u_1, \dots, u_n\}$  é o conjunto de vértices e  $E = \{(u_i, u_j): u_i, u_j \in V\}$  é o conjunto de arcos

(TARANTILIS, 2005). Os vértices, também chamados de nós, são os grandes geradores e/ou os pontos de coleta. Os arcos são as vias em que o veículo irá trafegar.

Com o intuito de melhor compreender esse problema de coleta, serão apresentadas, na Tabela 1, algumas características observadas no estudo de caso.

**Tabela 1:** Caracterização do problema de coleta segundo o caso da central Alfa.

Componentes do sistema de transporte	Item de caracterização	Característica
Via	Tipo de grafo	Direcionado
Veículo	Características físicas	Frota homogênea (mesma capacidade)
	Disponibilidade dos veículos	Horário comercial
Terminal (central e fornecedores)	Localização	Nós
	Número de centrais	Única
Controle	Restrição de programação	Janela de tempo simples
	Pedido	Coleta e entrega simultânea
	Volume do pedido	Menor que a capacidade do veículo
	Natureza do pedido	Determinística
	Necessidade de atendimento	1 dia
	Planejamento	Estático

Fonte: elaboração própria.

As características apresentadas na Tabela 1 foram separadas de acordo com os componentes do sistema de transportes: via, veículo, terminal e controle. Localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro, as vias com acesso aos fornecedores compõem as arestas de um grafo direcionado com a consideração necessária das mãos de direção. Já a central possui dois veículos com as mesmas características (frota homogênea) e com a disposição em horário comercial para a realização das coletas.

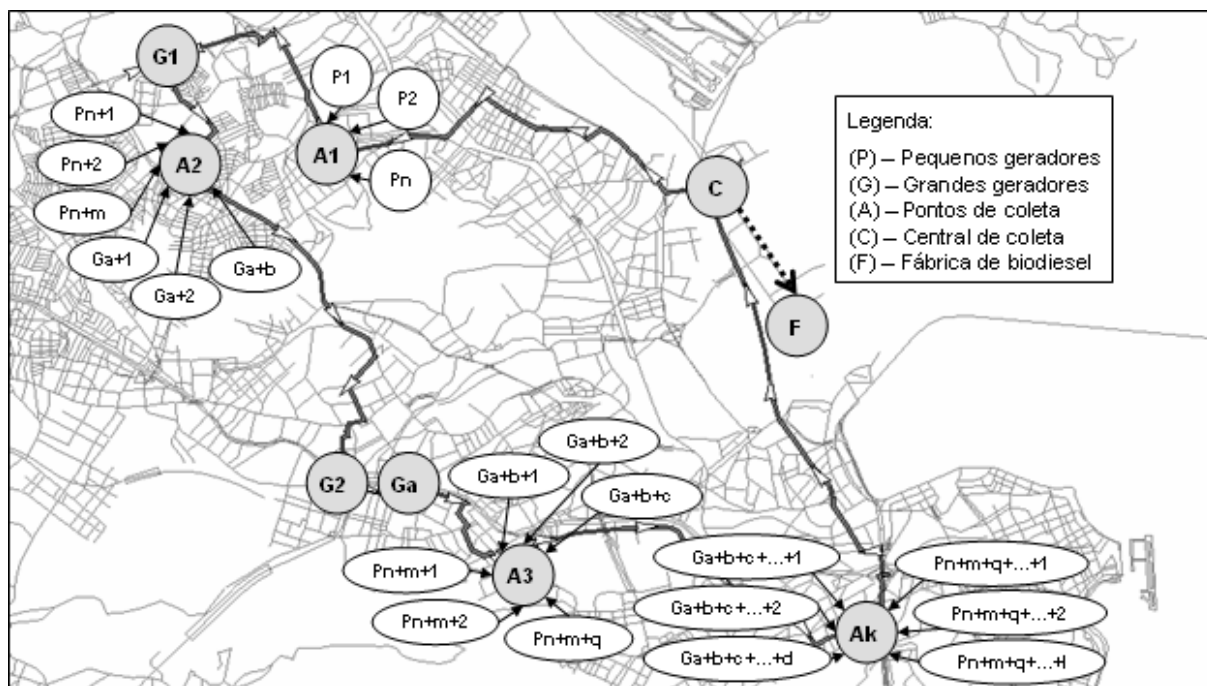
No caso estudado, há apenas uma central, que pode ser considerada, como todos os fornecedores, um nó do grafo. Já o controle do sistema de coleta deve considerar a troca de recipientes cheios por vazios nos fornecedores de acordo com as janelas de tempo de atendimento. Considera-se ainda que o volume de um pedido nunca será maior que a capacidade do veículo e que cada pedido poderá ser atendido em apenas um dia. Durante a operação, mais pedidos não são incluídos (planejamento estático). Quanto à natureza, esse pedido pode ser conhecido ou facilmente previsível (determinístico).

Esse caso prático ratifica o modelo apresentado na Figura 2. Além disso, fornece premissas que auxiliarão na definição da(s) variante(s) do problema aderente(s) à coleta de óleo residual de fritura.

#### 4. O PROBLEMA DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA

O modelo conceitual da Figura 2 aplica-se a uma central que realiza a coleta em grandes geradores e em pontos de coleta. A Figura 4 representa a terceira situação considerada no modelo conceitual da coleta de óleo residual de fritura. Pode-se observar que os pontos de coleta (A) são alimentados com o resíduo proveniente de pequenos e grandes geradores. Neste contexto, a central (C), cuja localização é conhecida previamente, recebe o aviso de grandes geradores (G) e de pontos de coleta (A), dentro de um conjunto universo de fornecedores cadastrados, sobre a existência de resíduo e o volume a ser coletado.

Após a determinação dos pontos da rede a serem visitados, o veículo deve partir da central, visitar apenas uma vez cada ponto e retornar para a mesma central. A decisão sobre a sequência de coleta e o percurso entre os pontos do grafo deve ser tomada de modo a minimizar o custo total da rota (distância ou tempo) e o volume total coletado em cada rota deve ser menor ou igual à capacidade do veículo.



Fonte: elaboração própria.

**Figura 4:** Grafo representando a terceira situação considerada no modelo conceitual da coleta de óleo residual de fritura.

Após a coleta, o óleo residual de fritura é tratado na central para ser transportado (grandes lotes) para a fábrica de biodiesel, conforme Figuras 2 e 3. Com base no que foi abordado, é possível definir esse problema como o de roteirização de veículos (PRV). Este deve ser solucionado de modo a minimizar o custo de transporte pela redução do tempo de viagem e/ou pela redução da distância percorrida. No entanto, o PRV possui variantes que serão apresentadas com mais detalhes no subitem 4.2.

#### 4.1. O problema de roteirização de veículos (PRV)

Segundo CUNHA (2003), o PRV segue o mesmo princípio do problema do caixeiro viajante (PCV). Este consiste em encontrar o roteiro, na forma da sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante, que minimize a distância total percorrida, assegurando que cada cidade seja visitada exatamente uma vez.

Conforme MARTINHON *et al.* (2004), o PRV é o nome genérico dado a uma classe vasta de problemas envolvendo a coleta e a distribuição física de mercadorias, serviços, informações e pessoas. O objetivo mais comum é o de minimizar a distância ou o tempo total de operação da frota de veículos de coleta. As decisões de roteirização envolvem a alocação de clientes para veículos e a determinação da sequência de atendimento.

Já TOTH e VIGO (2002) afirmam que o PRV é um dos problemas de otimização combinatória mais estudados, devido a sua relevância prática e considerável dificuldade. Esse problema deve ser solucionado com a determinação da rota ótima, realizada por um ou mais veículos que devem atender a um ou mais depósitos (ou centrais) e servir a um conjunto de clientes (ou fontes geradoras de resíduo). Na prática, é comum encontrar o PRV modificado ou adaptado a uma situação específica. No entanto, a solução para uma determinada situação não necessariamente poderá ser utilizada em outra. Neste sentido, muitas exigências e restrições adicionais são impostas ao processo de construção das rotas, principalmente quando é necessário reduzir a diferença entre o modelo teórico e a situação prática.

#### **4.2. Variantes do problema de roteirização de veículos**

GLADYS (2006) ressalta que pequenas modificações no problema básico de roteirização de veículos (número “1” – Tabela 2) podem originar outros problemas. Neste contexto, nove variantes do PRV (números de “2” a “10”), sugeridas pela autora, são apresentadas na Tabela 2, com o intuito de gerar conhecimento sobre as possíveis restrições que podem ser aplicadas a um modelo teórico para que este se torne mais próximo da realidade.

Quanto aos itens de caracterização, foram determinados a origem das restrições (pode ser demandada pelo cliente ou pelo próprio processo), o número de bases (pode ser apenas uma ou múltiplas), o planejamento (pode ser estático ou dinâmico), o período de operação (em 1 ou mais dias), o limite de tempo de serviço (corresponde a restrições temporais no modelo), a demanda do cliente x a capacidade do veículo (se a demanda do cliente é maior ou menor que a capacidade do veículo), o tipo de atendimento (entrega e/ou coleta) e a variação da demanda (determinística ou probabilística).

O PRV com restrições de capacidade e tempo máximo de rotas (número “2”) acontece quando há limitações no processo de coleta ou de entrega quanto ao tempo total para realizar a rota e quanto à capacidade de cada veículo. Outro problema que considera limites temporais é o de roteirização com janelas de tempo (número “3”). Esse problema possui restrições que definem os limites inferior e superior do tempo de serviço dos clientes, bem como a explicitação dessa duração. Segundo BRAYSI *et al.* (2004), as janelas de tempo consideradas podem ser de dois tipos: (1) janelas de tempo rígidas, em que as restrições de janelas de tempo não podem ser violadas e (2) janelas de tempo flexíveis, quando é permitido o serviço adiantado ou atrasado em relação à janela de tempo.

O PRV pode contemplar ainda múltiplas bases (número “4”), como uma restrição inserida no processo, com o intuito de melhor atender aos clientes com entregas mais rápidas ou para obter vantagem competitiva com a redução dos custos frente aos concorrentes. Outra restrição, agora imposta pelo cliente, diz respeito ao período de planejamento, que pode ser maior que um dia no caso do problema de roteirização de veículos periódico (número “5”). Nesse tipo de problema, um conjunto de clientes tem que ser visitado uma ou várias vezes em um horizonte de tempo de “D” dias. O número de dias de atendimento não é fixo, mas um conjunto de datas para possíveis atendimentos é associado a cada um dos clientes.

Outro exemplo de restrição imposta pelo cliente trata da demanda por uma quantidade de carga que é superior à capacidade do veículo. Esse problema é conhecido como PRV com entrega particionada (número “6”) e permite que o cliente possa ser atendido por vários veículos, desde que o custo total seja reduzido por esse tipo de atendimento.



**Tabela 2:** Variantes do problema básico de roteirização de veículos.

Denominação		Origem das restrições	Número de bases	Planejamento	Período de operação	Limite de tempo de serviço	Demanda do cliente x capacidade do veículo	Tipo de atendimento	Variação da demanda
1	Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade (PRVC)	processo	uma	estático	1 dia	não	menor	entrega ou coleta	determinística
2	Problema de roteirização de veículos com restrição de capacidade e tempo máximo para rotas (PRVCTMR)	processo	uma	estático	1 dia	sim	menor	entrega ou coleta	determinística
3	Problema de roteirização de veículos com janelas de tempo (PRVJT)	cliente	uma	estático	1 dia	sim	menor	entrega ou coleta	determinística
4	Problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos (PRVMD)	processo	múltiplas	estático	1 dia	não	menor	entrega ou coleta	determinística
5	Problema de roteirização de veículos periódico (PRVP)	cliente	uma	estático	D dias	sim	menor	entrega ou coleta	determinística
6	Problema de roteirização de veículos com entrega particionada (PRVEP)	cliente	uma	estático	1 dia	não	pode ser maior	entrega ou coleta	determinística
7	Problema de roteirização de veículos com cargas de retorno (PRVCR)	cliente	uma	estático	1 dia	não	menor	entrega e coleta	determinística
8	Problema de roteirização de veículos com pedidos de coleta e entrega (PRVCE)	cliente	uma	estático	1 dia	não	menor	entrega e coleta simultânea	determinística
9	Problema probabilístico de roteirização de veículos (PPRV)	cliente	uma	estático	1 dia	não	menor	entrega ou coleta	probabilística
10	Problema Dinâmico de roteirização de veículos (PDRV)	processo	uma	dinâmico	1 dia	não	menor	entrega ou coleta	probabilística

Fonte: elaboração própria a partir de CUNHA (2003) e GLADYS (2006).

Dentro do sistema logístico, muitas restrições são consideradas no problema por exigências de clientes. No caso do PRV com cargas de retorno (número “7”), alguns clientes demandam produtos que se encontram no depósito central e outros necessitam que seus produtos sejam coletados e levados para esse mesmo depósito. Nesse problema clássico, os clientes de coleta são visitados após todos os clientes de entrega terem sido atendidos. Entretanto, também podem ser encontrados problemas em que a coleta e a entrega acontecem de modo aleatório ao longo da rota.

Outros clientes, ao mesmo tempo em que demandam entrega, demandam coleta. Esse é o PRV com pedidos de coleta e entrega simultânea (número “8”) que, diferentemente do PRV com cargas de retorno, exige que a entrega e a coleta sejam efetuadas simultaneamente em um determinado cliente.

A abordagem das variantes do PRV, realizada até aqui, contemplou, muitas vezes, termos como demanda e tempo de viagem. Essas variáveis, na prática, são quase sempre probabilísticas. No entanto, a aleatoriedade das variáveis, muitas vezes, não é considerada em modelos teóricos, pois segundo GENDREAU *et al.* (1996) o PRV probabilístico (número “9”) é complexo e apenas problemas de pequeno porte podem ser solucionados até a obtenção do resultado ótimo.

Na Tabela 2, quase todos os PRV’s são classificados como estáticos. Conforme definição de PSARAFTIS (1995) *apud* GLADYS (2006), um problema de roteirização é estático se a solução de determinada formulação é um conjunto de rotas pré-planejadas que não serão re-otimizadas. Nesse caso, a entrada de dados não evolui em tempo real, o que acontece no problema dinâmico de roteirização de veículos (número “10”).

#### **4.3. Estudo de caso – identificação das variantes do PRV aderentes ao modelo conceitual**

Por meio da Tabela 3, pode-se observar quais são as variantes aderentes ao caso de coleta de óleo residual de fritura apresentado no subitem 3.3. Esse caso tratou das práticas realizadas pela central Alfa que faz uso de dois veículos idênticos. Por essa razão, o PRV com restrição de capacidade (1) é adequado por existir a necessidade de se considerar a capacidade da frota. Com a disponibilidade desses veículos apenas em horário comercial, a restrição de tempo máximo para as rotas (2) também deve ser considerada. Outra restrição temporal trata das janelas de atendimento (3). Essa restrição pôde ser observada em grandes geradores, como restaurantes, que não puderam atender na faixa de horário do almoço.

Além dessas variantes, deve-se considerar ainda o PRV com pedidos de coleta e entrega simultânea (8). Nos pontos de coleta e nos grandes geradores, “x” recipientes cheios são coletados e “x” outros recipientes vazios com mesma capacidade são entregues simultaneamente. Esse problema, segundo MONTANÉ e GALVÃO (2006), é geralmente encontrado na indústria de refrigerantes, onde as garrafas vazias devem ser coletadas, enquanto que as cheias devem ser entregues. Isso acontece sempre que os clientes não podem aceitar serem atendidos em uma hora com entrega e em outra com coleta, pois isso aumentaria o esforço de transporte e de manuseio e conseqüentemente os custos.

As outras variantes (4, 5, 6, 7, 9, 10) não são adequadas a essa situação prática. A central alfa (C) possui apenas uma sede onde o resíduo é estocado (4) e realiza sua operação de coleta em apenas um dia (5). A demanda de cada um dos pontos de coleta (A) e dos grandes geradores

(G) é sempre menor que a capacidade do veículo (6), sem a existência de cargas de retorno (7), e pode ser facilmente previsível (9). O planejamento é estático (10), não existindo alterações após o início da operação de coleta. Essas características não verificadas no caso da central Alfa podem ser encontradas em outros casos de coleta desse resíduo.

**Tabela 3:** Variantes do PRV aderentes ao caso de coleta de óleo residual de fritura.

Denominação	Adequação	Motivo (retirado da Tabela 2)
1 PRVC	sim	Características físicas (frota homogênea = mesma capacidade)
2 PRVCTMR	sim	Disponibilidade dos veículo (horário comercial)
3 PRVJT	sim	Restrição de programação (janela de tempo simples)
4 PRVMD	não	Número de centrais (única)
5 PRVP	não	Necessidade de atendimento (1 dia)
6 PRVEP	não	Volume do pedido (menor que a capacidade do veículo)
7 PRVCR	não	Pedido (coleta e entrega simultânea)
8 PRVCE	sim	Pedido (coleta e entrega simultânea)
9 PPRV	não	Natureza do pedido (determinística)
10 PDRV	não	Planejamento (estático)

Fonte: elaboração própria.

## 5. DISCUSSÃO SOBRE O MODELO CONCEITUAL

O óleo residual de fritura pode ser considerado um bem de pós-consumo obtido a partir do óleo vegetal comestível virgem refinado. A coleta desse resíduo compõe um processo de logística reversa, conforme Figura 1. Segundo LEITE (2003), a logística reversa é uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo (caso tratado neste trabalho) ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, entre outros.

Por meio da Figura 1, foi possível perceber que parte do óleo residual de fritura proveniente de pequenos e grandes geradores está sendo descartado no esgoto sanitário. Sendo esta uma oportunidade para a fábrica de biodiesel, é necessário coletar esse resíduo. A Figura 2 apresentou um modelo conceitual dessa prática, elaborado a partir das experiências nacional (situação 1) e internacional (situação 2). Essas duas situações foram definidas por meio da predominância de um conjunto de casos pesquisados e uma terceira situação foi sugerida como combinação das anteriores. Por essa razão, o modelo conceitual pode ser considerado genérico, isto é, tenta representar todas as práticas consultadas.

Neste sentido, esse modelo auxiliou no entendimento do problema de coleta de óleo residual de fritura de modo a defini-lo como um problema de roteirização de veículos. A Tabela 1 apresentou premissas pertencentes a um caso específico de coleta na região metropolitana do Rio de Janeiro. A partir dessas premissas, foi possível determinar quais variantes, listadas na Tabela 2, foram aderentes a esse caso específico. Neste contexto, pode-se concluir que as restrições que devem ser impostas ao modelo conceitual genérico variam de acordo com o caso de coleta de óleo residual de fritura. Constata-se ainda que todas essas restrições (Tabela 2) podem ser encontradas em casos desse tipo.

A captação de grandes doadores (geradores), por exemplo, pode impor a restrição de entrega particionada (6), devido ao grande volume de resíduo gerado (maior que a capacidade do veículo) em apenas um ponto. Ao se utilizar veículos do tipo caminhão tanque, o caso não

mais será um PRV com pedido de coleta e entrega simultânea (8). Com o aumento da quantidade de doadores, aumentando também os pedidos de coleta, as rotas podem ser re-otimizadas (10), após o início da operação, de modo a adquirir um volume maior que o planejado. Enfim, cada caso exige restrições que devem ser identificadas para a especificação do modelo conceitual genérico apresentado na Figura 2.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi atingido com a proposição de um modelo conceitual de coleta de óleo residual de fritura fundamentado na logística reversa do óleo vegetal comestível virgem refinado. Por meio desse modelo, foi possível determinar o tipo de problema que trata a coleta desse resíduo (problema de roteirização de veículos). Já a análise de um caso prático permitiu a definição das variantes desse problema aderentes a esse caso (Tabela 3 - 1, 2, 3 e 8).

O adequado entendimento do problema, por meio do modelo conceitual proposto, contribui para viabilizar o aproveitamento de um resíduo urbano e para a minimização dos impactos ambientais decorrentes do seu descarte inadequado.

Recomenda-se para estudos complementares a observação de outras práticas de coleta, tanto de óleo residual de fritura como de outros resíduos, para a verificação da necessidade de inserção de outras restrições. Acredita-se que o modelo apresentado na Figura 2 seja a base conceitual para outros casos de coleta de resíduos.

Espera-se que a definição do tipo de problema e de sua variante mais adequada auxilie na determinação de um conjunto de ferramentas que possam auxiliar na minimização do custo das viagens de um caso prático.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRÁYSI, O., HASLE, G., DULLAERT, W., 2004, "A Multi-start Local Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *European Journal of Operational Research*, v. 159, pp. 586-605.
- CUNHA, C. B., 2003, "Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais". *Transportes*, V.8, n.2, p. 51-74.
- GENDREAU, M., LAPORTE, G., SÉGUIN, S., 1996, "Stochastic Vehicle Routing", *European Journal of Operational Research*, v. 88, n. 1, pp. 3-12.
- GLADYS, N., 2006, *Busca Dispersa Aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos Básico*, D.Sc. Tese, COPPE/UFRJ, Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Brasil.
- GUABIROBA, R. C., D'AGOSTO, M. A., 2008, "Modelo de Cadeias de Coleta de Óleo Residual de Fritura para a Produção de Biodiesel Baseado em Cenários Nacional e Internacional", *XXII ANPET*, Fortaleza, CE, Brasil.
- IBP/COPPE/COPPEAD, 2007, "Aspectos Técnicos e Logísticos para a Produção de Biodiesel no Brasil". *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- LEITE P. R., 2003, *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo, Pearson Prentice Hall.
- MARTINHON, C., LUCENA, A., MACULAN, N., 2004, "Stronger K-tree relaxations for the vehicle routing problem", *European Journal of Operational Research* v. 158, n. 1, pp. 56-71.
- MONTANÉ, F. A. T., GALVÃO, R. D., 2006, "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery Service", *Computers & Operations Research*, v. 33, n. 3, pp.595-619.
- PROVE, 2007, *Estruturação e Modelagem Funcional*. Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- TARANTILIS, C. D., 2005, "Solving the vehicle routing problem with adaptive memory programming methodology", *Computers & Operations Research*, v. 32, pp. 2309 – 2327.
- TOTH, P., VIGO, D., 2002, "Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem", *Discrete Applied Mathematics* v. 123, pp. 487-512.