

**COPPE**  
UFRJ

## Projeto Biodiesel



# Projeto de Reaproveitamento de Resíduos de Óleo Vegetal e Criação da linha 'Rota dos Restaurantes'

Relatório de atividades  
Outubro de 2014

# Índice

Ficha Técnica.....	3
Apresentação .....	4
1. Introdução.....	5
2. Justificativa do projeto .....	5
3. Objetivos.....	6
4. Proposta de procedimento metodológico utilizado .....	7
5. Informações Gerais .....	9
6. Considerações finais.....	17
7. Referências.....	18

# Ficha Técnica

## **Coordenação Fundo Verde - UFRJ**

Suzana Kahn

Andrea Santos

## **Equipe Técnica Fundo Verde - UFRJ**

Marcio D'Agosto

Marcelino Aurélio da Silva

Rogério Duarte

Manuel Meyer

## **Equipe Técnica COPPEComb – COPPE - UFRJ**

Beatriz Chaves

Rejane Rocha

João Almeida

# **Apresentação**

Este documento constitui-se do detalhamento das atividades do projeto para o reaproveitamento de resíduos de óleo vegetal e Criação da linha “Rota dos Restaurantes” referente ao mês de outubro de 2014.

O principal objetivo deste relatório, além de apresentar as atividades desenvolvidas no âmbito do projeto, no mês de outubro de 2014, é identificar as dificuldades encontradas e apresentar uma proposta de procedimento metodológico para acompanhamento e execução da pesquisa realizada.

Outro objetivo importante é o estabelecimento de uma linha de base do projeto para que seja possível avaliar os benefícios futuros em termos de indicadores de sustentabilidade na cidade universitária.

# 1. Introdução

O Fundo Verde de Desenvolvimento e Energia para a Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Fundo Verde - UFRJ) é fruto de uma parceria do Governo do Estado do Rio de Janeiro, da Light e da UFRJ e tem como objetivo fomentar projetos de infraestrutura sustentável nos setores de geração e racionalização do uso de energia e de mobilidade urbana.

Fundo Verde - UFRJ foi instituído pelo decreto estadual Nº 43.903/2012 e os recursos oriundos da isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) que a UFRJ normalmente paga em sua conta de luz são transferidos para o Fundo. Tais recursos serão revertidos em benefício da própria cidade universitária para apoiar o financiamento da elaboração e execução de projetos sustentáveis.

## 2. Justificativa do projeto

Com o atual aumento da quantidade de pessoas na cidade universitária, fica cada vez mais latente a necessidade da expansão da malha de transportes internos. O Fundo Verde - UFRJ, em parceria com a Prefeitura Universitária, o PET (Programa de Engenharia de Transporte), e o Programa de Engenharia Química (PEQ) da COPPE/UFRJ elaboram alternativas sustentáveis para o atual sistema de transportes internos da Ilha.

Com a finalidade de atender a busca por alternativas sustentáveis foi criado o projeto de reaproveitamento de resíduos de óleo vegetal e Criação da linha “Rota dos Restaurantes”. Trata-se de uma alternativa de energia sustentável visando à melhoria do sistema de transporte interno da Cidade Universitária, a partir da produção de biocombustível utilizando como matéria prima um dos tipos de resíduo gerado na própria Universidade.

Além dos benefícios ambientais do projeto, haverá um benefício acadêmico, pois está previsto um monitoramento detalhado do consumo e das emissões para as diversas proporções de biocombustíveis utilizados na mistura com o diesel.

Foi realizada uma pesquisa “sobe/desce” na Ilha do Fundão, com o objetivo de analisar os horários críticos de demanda de transporte na Ilha. O horário do almoço caracterizou-se como o de maior deficiência de transporte devido à grande movimentação de pessoas. A oferta de transportes internos da Ilha está saturada com o atual aumento da quantidade de pessoas, ficando cada vez mais latente a necessidade da expansão da malha de transportes internos.

A partir do resultado desta pesquisa, foi discutida a possibilidade de desenvolvimento de um projeto em parceria entre o Fundo Verde, a Prefeitura Universitária, o PET, o PEQ, e a Diretoria da COPPE/UFRJ, onde seja possível produzir biocombustível a partir do óleo residual gerado pelos restaurantes sediados

na Cidade Universitária para abastecimento de uma pequena frota de veículos nos horários de pico.

Este programa experimental irá identificar pontos de melhoria no processo de produção do biodiesel, aproveitamento dos subprodutos e desempenho como combustível alternativo em frotas a diesel. Adicionalmente, será avaliado e quantificado seus benefícios ambientais de forma que os mesmos possam ser internalizados quando da análise econômica da alternativa.

### **3. Objetivos**

O projeto tem como um de seus objetivos realizar uma análise econômica, energética e ambiental do biodiesel produzido com base em um monitoramento do desempenho dos veículos abastecidos com o produto. O monitoramento será feito com um levantamento das emissões de gases do efeito estufa, do consumo e rendimento dos veículos. De posse do detalhamento do uso final e da origem dos insumos do biodiesel, será realizado uma análise do ciclo de vida com a finalidade de verificar toda a cadeia do produto.

## 4. Proposta de procedimento metodológico utilizado

A figura 1 apresenta o procedimento metodológico proposto para execução do projeto.

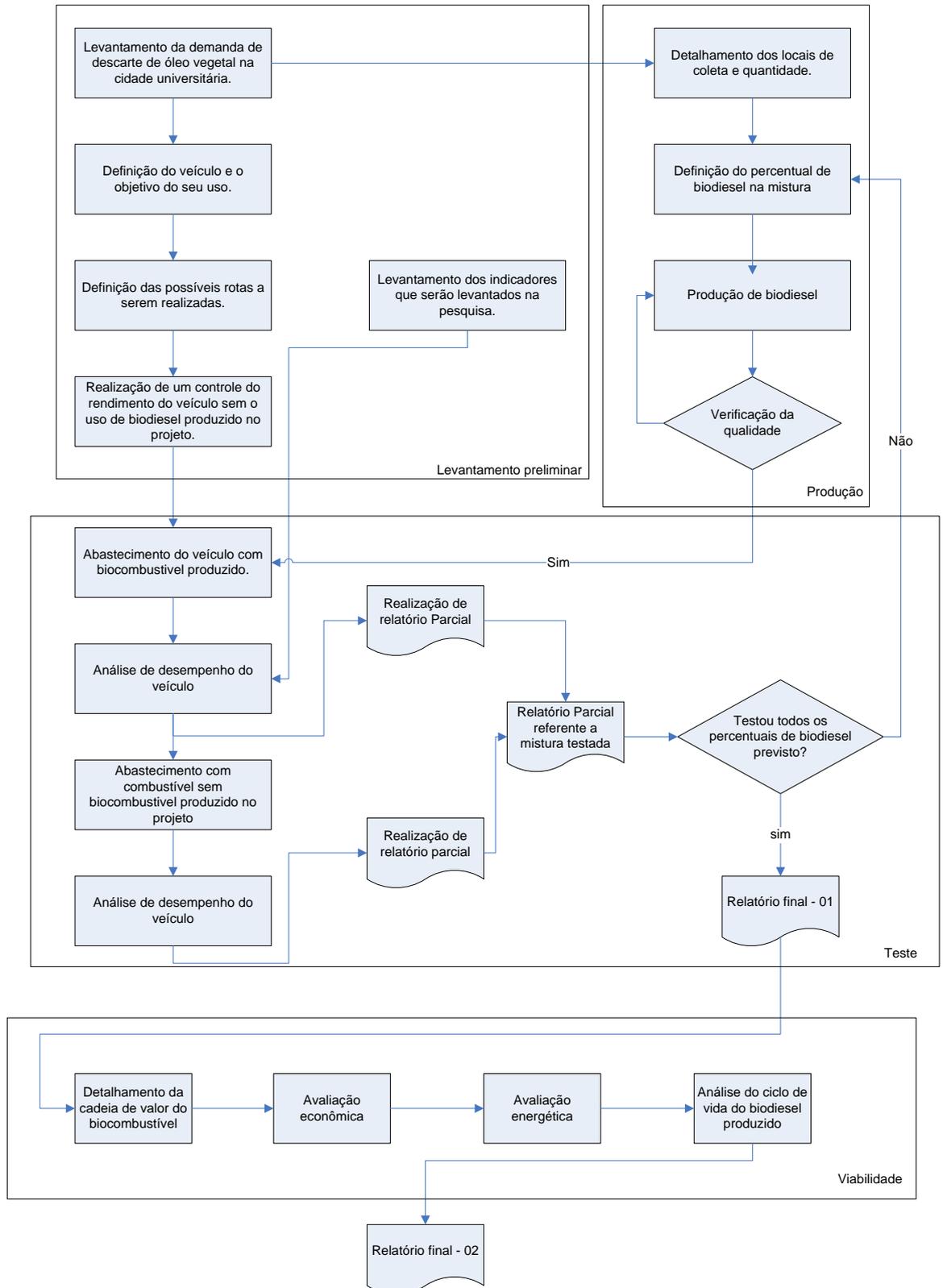


Figura 1 – Proposta de procedimento metodológico

O procedimento consiste de 4 etapas não necessariamente dependentes. A primeira trata de um levantamento preliminar com a definição do veículo, das rotas e detalhamento da demanda ao longo da área geográfica estudada.

A segunda mostra o detalhamento esperado da produção de biodiesel que além do produto propriamente dito do combustível, espera-se um relatório com as características do material produzido com a finalidade de acompanhamento da qualidade.

A terceira trata do teste no veículo escolhido. Como proposta preliminar, considerou-se um rodízio de uso de combustível, ou seja, após o teste com a mistura de biodiesel produzido, o veículo voltaria a circular com o diesel oriundo do posto de abastecimento (combustível de referência) com a finalidade de controlar o rendimento do veículo. A variação de rendimento pode ocorrer devido ao uso de combustível diferente e esta verificação pode levar a conclusão de algum tipo de manutenção devido à variação de rendimento com o combustível de referência.

A figura 2 apresenta o ciclo de produção do biodiesel a partir do óleo coletado.



Figura 2 – Ciclo de produção do biodiesel a partir do óleo coletado

Concluída as 3 etapas iniciais, a quarta etapa tem como finalidade apresentar uma análise econômica e energética do biodiesel produzido, realizando uma análise de sua cadeia de valor e do ciclo de vida.

## 5. Informações Gerais

### a) Veículo utilizado no momento

Para expandir a oferta de transporte na ilha e trabalhar de maneira sustentável, o Fundo Verde – UFRJ elaborou um projeto para a circulação interna de 4 Vans e 1 Micro-ônibus movidos a biodiesel a ser produzido pelo laboratório Coppecomb a partir do resíduo de óleo vegetal. Os veículos circularão durante o horário de almoço (11:30-14:30h).

Inicialmente o veículo utilizado foi uma Van, que começou a circular no dia 01/09/2014, em caráter piloto. O projeto ainda irá se expandir para um total de 4 vans, todas movidas por biodiesel, que circularão pelo campus no horário de almoço.

A figura 2 apresenta uma fotografia da van utilizada na pesquisa.



Figura 2 – Van utilizada na pesquisa

### b) Circulação

A rota funciona no horário das 11:30h às 14:30h, em percurso predefinido, passando por diversos restaurantes do campus. Nomeada “Rota dos Restaurantes” este novo projeto pretende melhorar a mobilidade do campus durante a este período do dia e disponibilizar uma maior oferta de restaurantes para a comunidade do campus.

Os veículos circularão durante o horário de almoço (11:30h-14:30h) no traçado apresentado na figura 3.



Figura 3 – Rota da Van utilizada na pesquisa

### c) Produção de biodiesel

#### c.1) Detalhes da coleta do óleo residual

No mês de agosto foram iniciadas as visitas aos restaurantes do campus para identificar possíveis parcerias para o projeto.

No mês de setembro foram firmadas 8 parcerias com os seguintes restaurantes: Menina Bombom, Fundão Grill, Kilowatt, Grêmio da COPPE, Projectus, Gourmix, Couve Flor e Prefeitura Grill.

Cada restaurante recebeu um recipiente vazio (bombona) identificada com a logo do Projeto Fundo Verde – UFRJ com capacidade de 60 litros. As coletas são realizadas num intervalo de 15 a 20 dias. No momento da retirada, um recipiente vazio é entregue ao restaurante em substituição ao recipiente coletado contendo o óleo residual.

A primeira coleta foi realizada no dia 26/09/2014, tendo neste dia coletado um total de 320 litros de óleo residual de fritura. A Segunda coleta foi realizada no dia 10/10/2014 contabilizando o total de 240 litros. A terceira coleta foi realizada no dia 24/10/2014, tendo neste dia um total de 215 litros coletados.

O armazenamento deste óleo residual de fritura é feito no galpão do CETS/IVIG, onde hoje abriga a planta piloto de biodiesel; Neste local mantemos 10 recipientes com capacidade de 120 litros cada um. Quando chegamos com o óleo coletado dos restaurantes transferimos para estes recipientes.

No momento existe uma quantidade armazenada de 705 litros de óleo residual de fritura. Deste montante, 70 litros foram levados para o laboratório COPPEComb para produção de biodiesel em escala laboratorial.

#### c.2) Detalhes da produção do biodiesel.

O Biodiesel foi produzido em laboratório a partir do processo catalítico homogêneo de transesterificação e esterificação via rota metílica. Este método é o mais conhecido e utilizado para a produção de biocombustível no Brasil e no mundo.

De um modo geral, esse processo pode ser dividido em 7 etapas:

1. Reação química (transesterificação seguida de esterificação) entre o óleo residual coletado e o álcool (metanol);
2. Separação das fases (éster e glicerol);
3. Recuperação do álcool não reagido (em ambas as fases, éster e glicerol);
4. Lavagem do éster;
5. Recuperação da água de lavagem do éster;
6. Purificação do biocombustível;
7. Caracterização/adequação do biocombustível

Essa produção foi realizada através do processo batelada, no qual foi processado cerca de 10 litros de óleo residual em cada reação.

Ao final da sexta etapa, é retirada uma amostra do biodiesel e destinada para a realização dos 24 ensaios de caracterização exigidos pela Resolução da ANP nº 45 (em anexo), para garantia da qualidade do biodiesel produzido. Caso o biocombustível produzido apresente resultados fora dos limites estabelecidos pela Resolução em algum dos ensaios exigidos, o mesmo deverá retornar para a bancada do laboratório para correção da produção.

Com a experiência adquirida neste tipo de produção, já sabemos ao final de cada reação que os resultados relativos a: Teor de água, índice de acidez e estabilidade a oxidação, apresentarão não conformidade após a finalização da sexta etapa. Esse tipo de não conformidade se deve principalmente a características e condições da matéria prima que está sendo utilizada na produção. Por este motivo, o

biodiesel produzido deve retornar à bancada e aos ensaios de acompanhamento por algumas vezes até estar dentro dos limites exigidos pela Resolução.

Este procedimento deverá ser repetido ao final de cada batelada, com o objetivo de controlar a qualidade do biocombustível produzido e acompanhar o desempenho da matéria prima utilizada no processo. Desta forma foram produzidos 50 litros de biodiesel a partir do óleo residual coletado dos restaurantes.

As misturas não foram analisadas. Para tal será necessário realizar os ensaios de caracterização em uma amostra após o B100 produzido ser adicionado ao Diesel adquirido no Posto de Abastecimento. Cabe ressaltar que não temos como garantir a qualidade do Diesel adquirido no Posto. Por este motivo os ensaios de caracterização servirão somente como acompanhamento/registro do abastecimento dos veículos.

#### d) Uso de biodiesel na Van

Até o presente momento não foi utilizado o biocombustível produzido na Van empregada no projeto. Um levantamento das características operacionais da Van com o emprego do combustível (B7) será necessário para avaliar a situação de atual e servir de referência para os demais levantamentos. Para quantificar os indicadores, o item e especifica o detalhamento a ser realizado com a finalidade de atingir o objetivo.

#### e) Aspectos a serem monitorados

- Rendimento do veículo antes e depois de uso do biocombustível;
- Rendimento do veículo para as diversas proporções de biodiesel no diesel;
- Determinação da variação das Emissões veiculares para as misturas de biocombustíveis utilizados.
- Detalhamento da rota e forma de coleta com sua distribuição espacial do óleo de fritura utilizado para produção do biocombustível;
- Acompanhamento da qualidade do biocombustível produzido.

#### f) Resultados

Até o momento, não foi iniciado o teste com biocombustível produzido em laboratório.

Foi levantado o rendimento da Van de acordo com as informações de abastecimento do responsável pela garagem. Porém, verificou-se uma dispersão alta que levou a decidir realizar um monitoramento diário do abastecimento. De posse do monitoramento diário que está sendo realizado na semana do dia 4 a 7 de outubro, será elaborado um histórico de rendimento com a finalidade de servir de referências para as comparações com as misturas de combustíveis estudadas.

A tabela abaixo apresenta os monitoramentos realizados até a presente data com a Van utilizada neste projeto.

Tabela 1: Rendimento da Van utilizada na pesquisa.

Medição	Km percorrido	Litros	Rendimento (Km/L)
Medição 1	130	18,12	7,17
Medição 2	93	14,01	6,64
Medição 3	95	11,08	8,57
Medição 4	581	34,96	16,62
Medição 5	447	46,09	9,70
Medição 6	534	66,63	8,01
Medição 7	390	59,8	6,52
Medição 8	335	54,26	6,17

A figura 4 apresenta os valores das observações dos rendimentos em que foi identificada uma média de 8,68 km/l e desvio-padrão de 3,42 km/l. A medição 4 foi referente a uma viagem realizada pela Van, que apresentou um rendimento diferente das demais observações. Utilizando apenas os rendimentos em que a Van foi utilizada para o projeto em questão a média do rendimento foi de 7,54 km/l e desvio-padrão de 1,28 km/l.

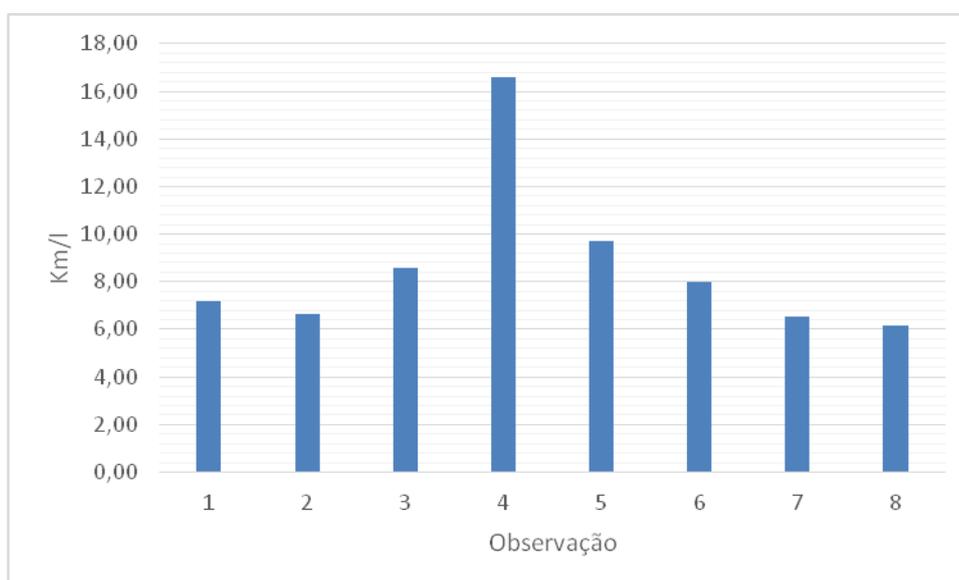


Figura 4 – Rendimento observado.

Algumas investigações poderão ser realizadas com a finalidade de explicar a variabilidade do rendimento observado. Algumas hipóteses estão listadas a seguir:

- Variação de ocupação da Van, representada pela quantidade de passageiros,
- Variação da velocidade de operação da Van devido ao deslocamento realizado;

c) Diferenças em relação ao uso da Van e percurso utilizado;

Para o projeto em questão, existe a previsão de aquisição de um equipamento para monitoramento do consumo da Van com emprego de telemetria. Este equipamento será instalado no veículo e registrará o consumo, velocidade, rotação do motor entre outras características de operação. Os registros serão armazenados em um banco de dados e dessa forma, possibilitará buscar variáveis que expliquem a variabilidade observada no rendimento.

De posse de mais dados, será possível verificar se a variação observada no rendimento é uma característica do veículo ou se existe alguma variável que explique a variabilidade.

A seguir serão apresentados os fatores de emissão para o veículo utilizado na pesquisa.

### Fatores de emissão de CO, NOx, NMHC e MP

Como o veículo utilizado é do ciclo diesel, serão considerados fatores de emissão para os poluentes CO, NOx, NMHC e MP, regulamentados pelo PROCONVE. Tais valores são disponibilizados em  $g_{poluente}/kWh$ , conforme Tabela 2.

Tabela 2: Fatores de emissão para motores Diesel por fase do PROCONVE, em  $g/kWh$ .

Fase do PROCONVE	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	MP <sup>(*)</sup>
Pré-PROCONVE, P1 e P2	1,86	0,68	10,70	0,660
P3	1,62	0,54	6,55	0,318
P4	0,85	0,29	6,16	0,120
P5	0,83	0,16	4,67	0,078
P7	0,83	0,16	1,80	0,018

Desse modo, seguindo o método de conversão adotado pelo INEAVAR (MMA, 2011) tais fatores foram convertidos em  $g_{poluente}/km$ , conforme Equações 1 e 2.

$$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} = \frac{g_{poluente}}{kWh} \div \frac{g_{diesel}}{KWh} \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} \times \frac{g_{diesel}}{L_{diesel}} \div \frac{km}{L_{diesel}} \quad \text{Equação 2}$$

Como consumo específico de combustível considerou-se os valores disponibilizados pelo INEAVAR, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Consumo específico de combustível de motores Diesel por fase do PROCONVE, em  $g_{diesel}/kWh$

Fase do PROCONVE	Consumo específico de combustível ( $g_{diesel}/kWh$ )
Pré-PROCONVE, P1 e P2	225
P3	218
P4	210
P5	220
P7	210

Tabela 4: Fatores de emissão para motores Diesel por fase do PROCONVE, em  $g_{poluente}/kg_{diesel}$

Fase do PROCONVE	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	MP <sup>(*)</sup>
Pré-PROCONVE, P1 e P2	8,27	3,02	47,56	2,933
P3	7,43	2,48	30,05	1,459
P4	4,05	1,38	29,33	0,571
P5	3,77	0,73	21,23	0,355
P7	3,95	0,76	8,57	0,086

Para a conversão dos fatores de emissão de poluentes de  $g_{poluente}/kg_{diesel}$  em  $g_{poluente}/L_{diesel}$ , utilizados para o cálculo das emissões (Tabela 4), utilizou-se o valor de massa específica do diesel disponível em ANP (2013) de 0,85200 kg/l.

A tabela 5 apresenta os valores dos rendimentos em relação ao peso do diesel.

Tabela 5: Rendimento da Van utilizada na pesquisa.

Medição	Rendimento (Km/L)	Rendimento (Km/ $kg_{diesel}$ )
Medição 1	7,17	8,42
Medição 2	6,64	7,79
Medição 3	8,57	10,06
Medição 4	16,62	19,51
Medição 5	9,70	11,38
Medição 6	8,01	9,40
Medição 7	6,52	7,65
Medição 8	6,17	7,24

A tabela 6 apresenta a variação dos valores de fator de emissão, considerando a fase P7. Como foi observada variação no rendimento o mesmo ocorre nos fatores de emissão.

Tabela 6: Fator de emissão em  $g_{poluente}/km$

Medições	CO	NMHC	NOx	MP
Medição 1	0,469	0,090	1,018	0,010
Medição 2	0,507	0,098	1,100	0,011
Medição 3	0,393	0,076	0,852	0,009
Medição 4	0,202	0,039	0,439	0,004
Medição 5	0,347	0,067	0,753	0,008
Medição 6	0,420	0,081	0,912	0,009
Medição 7	0,516	0,099	1,120	0,011
Medição 8	0,546	0,105	1,184	0,012

### Fator de emissão do CO<sub>2</sub>

De forma similar ao realizado pelo INEAVAR, para a definição dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub>, utilizou-se a metodologia adotada pelo MCT (2006), conforme Equação 3.

$$FECO_2 \left[ \frac{kg}{l} \right] = \left( CE_c \left[ \frac{MJ}{l} \right] \times F_{con} \left[ \frac{gC}{MJ} \right] \times F_{ox} \times F_{CO_2} \left[ \frac{gCO_2}{gC} \right] \right) \div 1000 \quad \text{Equação 3.}$$

Onde:

FECO<sub>2</sub>: Fator de emissão de CO<sub>2</sub> em kg por litro de combustível;

CE<sub>c</sub>: Conteúdo energético do combustível (c) em MJ;

F<sub>con</sub>: Fator de conversão para cálculo de conteúdo de carbono (transforma energia em MJ em grama de carbono);

F<sub>ox</sub>: Fator de oxidação;

F<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Fator de conversão de carbono (C) para CO<sub>2</sub>;

Desse modo, obtiveram-se os fatores de emissão do CO<sub>2</sub>, apresentados na Tabela 7, para o diesel. Para o biodiesel utilizou-se dados fornecidos pela EPE (2007).

Tabela 7: Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos do ciclo Diesel.

Combustível	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Massa específica (kg/l)	Conteúdo energético (CE <sub>c</sub> ) (kcal/kg)	Conteúdo energético (MJ/l)	Fator de emissão de carbono (F <sub>con</sub> ) (Tc/TJ)	Fator de oxidação (F <sub>ox</sub> )	Fator de conversão em CO <sub>2</sub> (FCO <sub>2</sub> )	Fator de emissão de CO <sub>2</sub> (FECO <sub>2</sub> )
Óleo dieses	10,350	0,852	8.818,200	36,900	20,200	0,990	3,670	2,710
Biodiesel								2,430

Fonte: Elaboração própria com base em ANP (2013), MCT (2006) e EPE (2007).

O combustível estudado na pesquisa até o momento é o B7. Logo, o FECO<sub>2</sub> para o B7 seria de  $0,07 \times 2,430 + 0,93 \times 2,71 = 2,690$  kg/l.

Tabela 8: Fator de emissão em gCO<sub>2</sub>/km

<b>Medições</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
Medição 1	0,375
Medição 2	0,405
Medição 3	0,314
Medição 4	0,162
Medição 5	0,277
Medição 6	0,336
Medição 7	0,413
Medição 8	0,436

As variações encontradas nos fatores de emissão e no rendimento serão investigadas em experimentos futuros com a finalidade de obter as causas reais do fenômeno observado.

## **6. Considerações finais**

Este documento apresentou o detalhamento das atividades do projeto para o mês de outubro de 2014. O acompanhamento das atividades possibilitou a identificação das dificuldades existentes e propor melhorias para as etapas subsequentes do projeto.

Dessa forma, um procedimento metodológico foi proposto para acompanhamento e execução da pesquisa realizada, que deverá ser validada ao longo do projeto, e neste momento serve de referência para a pesquisa.

Dos ensaios realizados e resultados do projeto, foi possível estabelecer uma linha de base (fase preliminar que será verificada sempre que possível ao longo do experimento) para que seja possível avaliar os benefícios futuros em termos de indicadores de sustentabilidade na cidade universitária.

## 7. Referências

- ANP (2013) Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – 2013, Agência Nacional de Petróleo, RJ, Brasil;
- EPE (2010) *Balanço Energético Nacional, 2010*, Empresa de pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil;
- MCT (2006) Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência: Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down. Ministério da Ciência e Tecnologia Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE. Brasília, 2006.
- MMA (2011) 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (INEAVAR). Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – Departamento de Mudanças Climáticas – Gerência de Qualidade do Ar.