

# FATOR DE SOMBREAMENTO NO BRASIL PARA CRÉDITOS DE CO<sub>2</sub> FORA DO CICLO DE HOMOLOGAÇÃO UTILIZANDO TETO SOLAR FOTOVOLTAICO COM CÉLULA OPV NO CARREGAMENTO DA BATERIA VEICULAR

**Toshizaemom Noce** – noce@fcagroup.com

**Adelson C. Santana** – adelson.santana@fcagroup.com

**Rafael R. Silva** – rafaelrocha.silva@fcagroup.com

Fiat Chrysler Automobiles, Departamento de inovação da América Latina

**Antonia Sônia A. C. Diniz** – asacd2012@pucminas.br

**Sergio M. Hanriot** – hanriot@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** Em todo o mundo os limites permitidos de emissões de CO<sub>2</sub> dos escapes de veículos estão cada vez menores, e consequentemente os fabricantes de automóveis estão procurando por tecnologias que atuam dentro e fora do ciclo de homologação para atingir os níveis de emissões regulados. Algumas dessas novas tecnologias são chamadas de inovações ecológicas (eco-innovations). Entre elas esta o uso de teto solar com módulos OPV para carregar a bateria veicular e assim reivindicar créditos de CO<sub>2</sub> fora do ciclo de homologação. Na Europa a reivindicação de créditos de carbono fora do ciclo homologação está regulada pelo documento EC No 443/2009. O qual estabelece o fator de utilização devido a sombreamento (Usage Factor) em 0.51. No Brasil, onde tanto a flora quanto a arquitetura urbana são diferentes, o fator de sombreamento médio ainda não foi calculado. Esse trabalho apresenta o fator de sombreamento médio no Brasil, de acordo com medições realizadas em áreas urbanas e rurais de Minas Gerais. O objetivo é utilizar esses dados no cálculo de créditos de CO<sub>2</sub> fora do ciclo de homologação a serem reivindicados pela utilização de teto solar fotovoltaico visando o carregamento de baterias automotivas.

**Palavras-chave:** Teto solar fotovoltaico veicular, Fator de Sombreamento, Créditos de CO<sub>2</sub>.

## 1. INTRODUÇÃO

A tendência mundial para reduzir os limites de emissões de CO<sub>2</sub> (Fig. 1), está forçando os fabricantes a encontrar novas tecnologias para reduzir as emissões dentro do ciclo de homologação e aumentar os créditos de CO<sub>2</sub> fora dele (Mock, 2014). A taxa de redução de emissões é de cerca de 3,7% ao ano (Iorio, 2013).

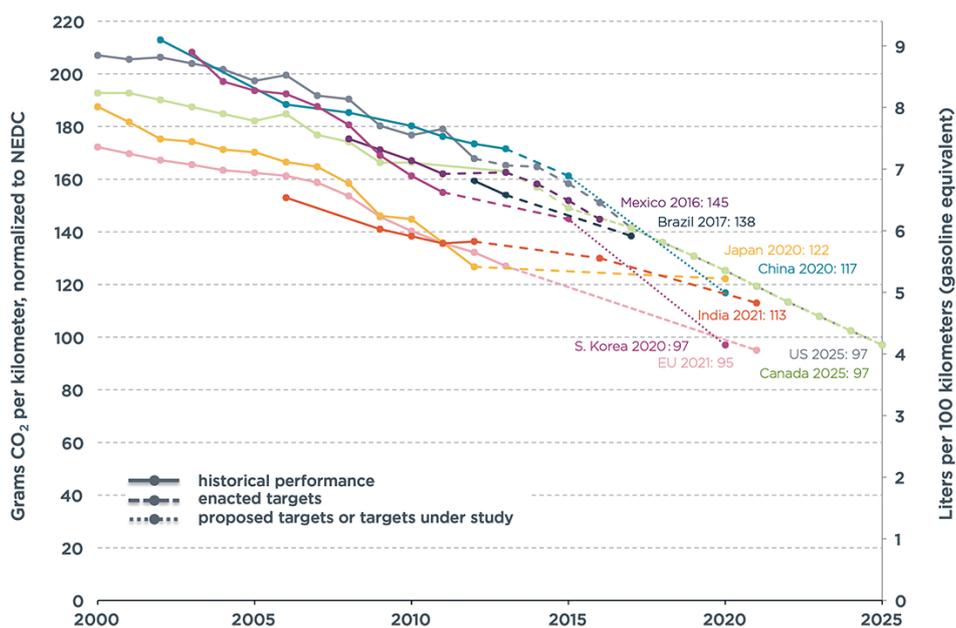


Figura 1 – Dados históricos de emissões de CO<sub>2</sub> e atuais propostos para normas de veículos de passeio (Mock, 2014)

Em uma análise econômica, a viabilidade de uma tecnologia ecologicamente inovadora é diretamente relacionada a quanto de redução de CO<sub>2</sub> é reivindicado dentro e fora do ciclo homologativo, considerando o investimento e o aumento de custo do produto. Então, entre duas ou mais tecnologias com o mesmo custo e investimento, os fabricantes de automóveis escolherão aquela que gera mais créditos de CO<sub>2</sub>. Portanto, é mandatório que se saiba qual é a relação entre US\$/créditos em gramas de CO<sub>2</sub>.

No Brasil, o programa INOVARAUTO estabelece um aumento de eficiência energética mínimo de 12%, entre os períodos de 2013 a 2017 como um dos requisitos obrigatórios para se ter direito a uma redução da tarifa de imposto do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) de 30 pp. O programa concede ainda uma redução de 1% a 2% do imposto para aqueles fabricantes que excederem os 12% requeridos.

As emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível dentro do ciclo de homologação são medidas em bancos dinâmicos de acordo com o ciclo de condução homologativo. Já os créditos fora do ciclo homologativo são calculados baseados no padrão real de utilização do cliente, considerando condições ambientais que nem sempre estão disponíveis nos testes em bancos dinâmicos.

Em um veículo convencional movido a motor de combustão interna (ICE), a energia mecânica utilizada para mover o carro e também a energia elétrica usada para todas as cargas elétricas como iluminação, dispositivos de conforto e conveniência, sistemas de ar-condicionado e aquecimento (HVAC), centrais eletrônicas de controle (ECU), etc. vêm do combustível, como ilustrado na Fig. 2.

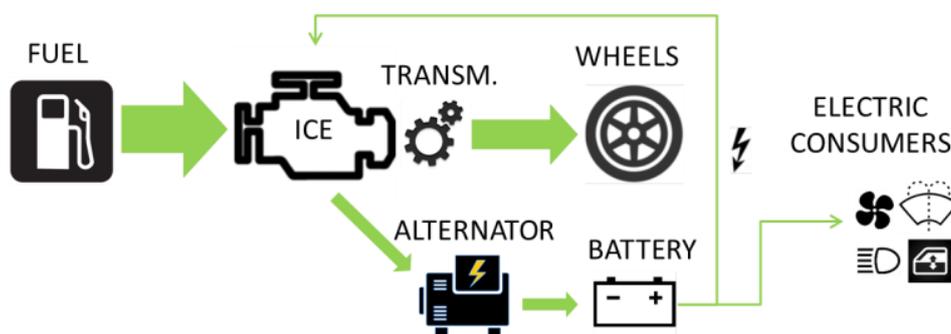


Figura 2 – Fluxo de energia em um veículo convencional movido a motor de combustão interna (Noce et al., 2015)

Já em um veículo que utiliza um teto solar fotovoltaico para carregamento da bateria, a energia também é fornecida por um gerador fotovoltaico, que transforma radiação solar em eletricidade, o que reduz a demanda de combustível no veículo, conforme a Fig. 3 (Noce et al., 2015).

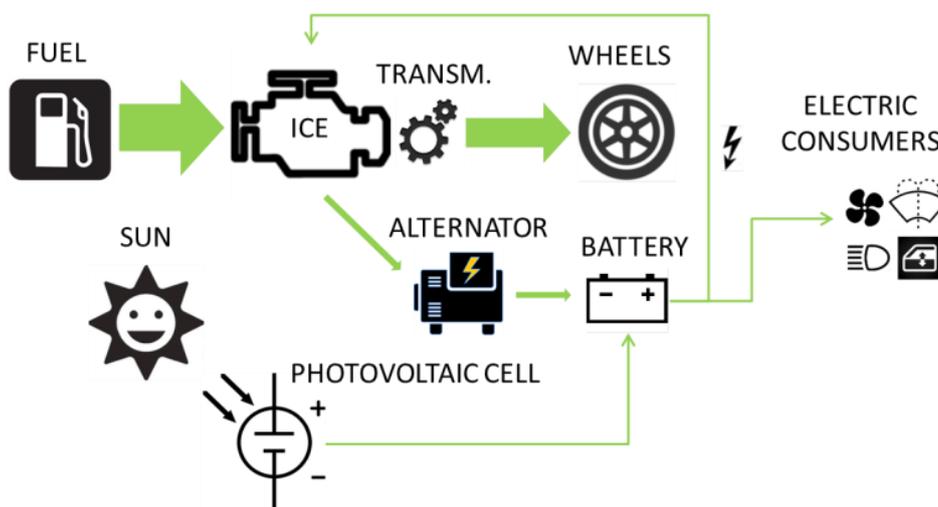


Figura 3 – Fluxo de energia em um veículo com teto solar fotovoltaico para carregamento da bateria (Noce et al., 2015)

Considerando as necessidades atuais da indústria automotiva local, esse estudo visa propor parâmetros para a aplicação de tetos solares para carregamento da bateria veicular no Brasil.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A comissão europeia preparou o guia EC 443/2009 (2013) com as condições para a reivindicação de créditos de CO<sub>2</sub> usando, entre outros, o teto solar para carregamento da bateria veicular, que é representado pela Eq. (1).

$$C_{CO_2} = P_{SR} \cdot UF_{IR} \cdot \eta_{SS} \cdot P_p \cdot SCC \cdot \frac{V_{Pe-P}}{\eta_A} \cdot \frac{CF_p}{M_p} \quad (1)$$

Onde:

$C_{CO_2}$  é quantidade de gramas de  $CO_2$  para créditos fora de ciclo de homologação;

$P_{SR}$  é a irradiação solar média em  $W/m^2$ ;

$UF_{IR}$  é o fator de utilização devido ao sombreamento do painel solar;

$\eta_{SS}$  é a eficiência global do painel fotovoltaico o que exclui a eficiência da célula fotovoltaica. Cobre a transformação da tensão das células fotovoltaicas para a tensão da bateria (conversor DC-DC) o armazenamento na bateria (processo de carga e descarga) e a temperatura, reflexão e efeitos de deterioração;

$P_p$  é a potência (Wp) fornecida pelo módulo fotovoltaico, sob condições padronizadas de  $1000 W/m^2$ ;

$SCC$  é o fator de correção baseado na capacidade de armazenamento disponível da bateria;

$V_{Pe-P}$  é o consumo específico de combustível por veículos movidos a gasolina (ciclo Otto) em  $L/kWh$ ;

$\eta_A$  é a eficiência do alternador quando convertendo energia mecânica em energia elétrica;

$CF_p$  é o fator de conversão de  $L/100km$  para  $gCO_2/km$ ;

$M_p$  é a média de milhas rodadas por veículos movidos a gasolina em  $mi/h$  ( $km/ano$  dividido por 8,76).

Ainda de acordo com o guia europeu EC 443/2009 (2013), um carro com um teto solar fotovoltaico para carregamento da bateria veicular, poderá adotar os seguintes parâmetros:

$$P_{SR} = 120W / m^2$$

$$UF_{IR} = 51\%$$

$$\eta_{SS} = 76\%$$

$$P_p = 100W / (1000W / m^2)$$

$$SCC = 0,873$$

$$W_{PE-P} = 0,264L / kWh$$

$$\eta_A = 64\%$$

$$CF_p = 2330gCO_2 / L$$

$$M_p = 1449,8m / h(12700km / ano)$$

Resultado é de  $C_{CO_2} = 2.57 gCO_2/km$ .

De acordo com o guia EC 443/2009 (2013), todos esse parâmetros são sugeridos para o mercado Europeu e podem tornar-se um pouco diferentes quando outros mercados são analisados. O guia europeu EC 443/2009 (2013), define  $UF_{IR}$  na Europa como 0.51 ou 51%, ou seja, devido ao sombreamento causado por casas, flora e arquitetura urbana em geral, apenas 51% da radiação medida em uma estação isenta deste tipo de obstrução, chega a incidir diretamente sobre um dispositivo móvel.

As principais cidades do Brasil estão localizadas em latitudes mais baixas que as cidades europeias e em sua maioria situadas em zona tropical. Consequentemente, o ângulo de altitude solar é diferente no Brasil em relação à Europa, influenciando a formação de sombras no decorrer do ano e fazendo com que as sombras geradas por saliências e construções de mesmo tamanho sejam menores no Brasil (Duffie e Beckman, 2013). Ademais, a arquitetura e a flora, responsáveis pela formação de sombras, mudam significativamente ao redor do mundo, fato que já invalidaria a tomada de um mesmo fator de sombreamento para ambas regiões.

A determinação da radiação em áreas urbanas sofre influência da arquitetura e da flora (Robinson e Stone, 2004). Hofierka e Kaňuk (2009) desenvolveram modelos para aproximar a radiação no tecido urbano para aplicações estáticas. Para aplicações móveis, devido a grande dinâmica dos diversos parâmetros citados, propõe-se a determinação estatística através de medições reais feitas por dispositivos móveis acoplados ao teto de veículos, utilizados em aplicações urbanas e rurais rotineiras.

Esse estudo é uma tentativa de estabelecer o valor a ser adotado como fator de sombreamento no Brasil.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Dispositivo de aquisição de dados

Para a aquisição dos dados necessários para a realização dos estudos estatísticos relacionados ao fator de sombreamento foi desenvolvido um dispositivo capaz de coletar as informações de energia gerada por uma OPV (Célula Fotovoltaica Orgânica) e enviá-las a um servidor de dados via SMS. O funcionamento do dispositivo é mostrado esquematicamente pela Fig. 4.

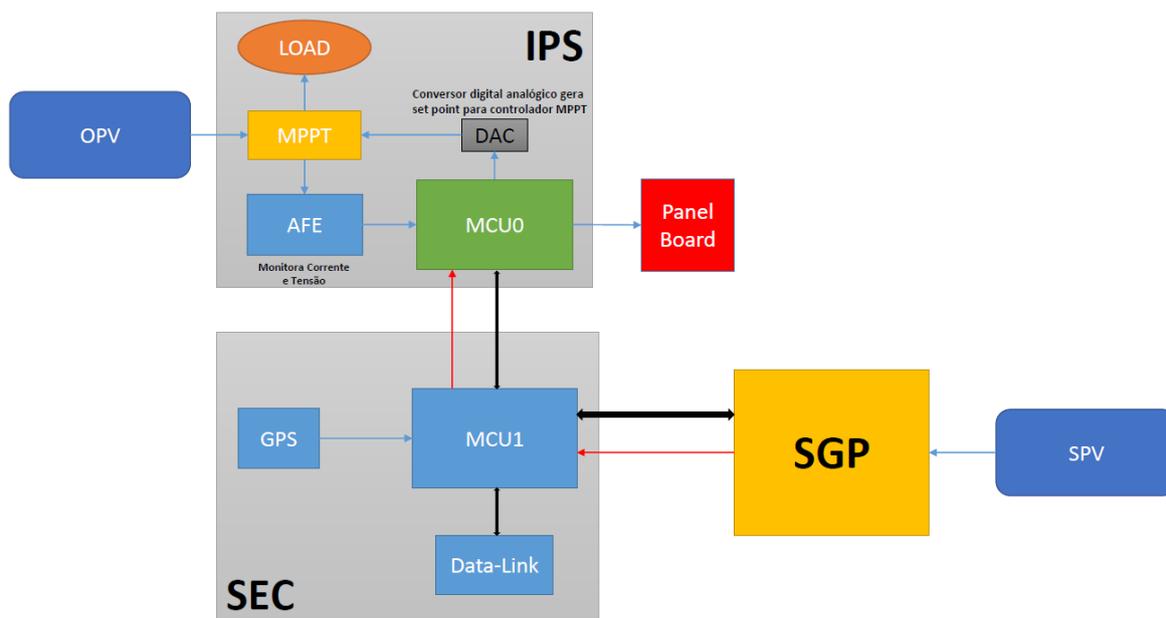


Figura 4 – Diagrama de blocos do dispositivo

Na IPS (Interface Peripheral System) o módulo AFE (Analog Front End) monitora a corrente e tensão tanto na entrada quanto na saída do controlador MPPT (Maximum Power Point Tracking). O módulo fornece informações para o MCU0 (microcontrolador) que processa todo o loop de controle e ajusta o set point de controle no controlador MPPT através da DAC (Digital Analog Converter), além de transmitir para o SEC (Sistema Embarcado Central) todos os dados monitorados e variáveis de controle através de um barramento I2C. Na SEC o MCU1 processa todos os dados recebidos do MCU0 (filtros, médias, verificações de integridade e etc.), faz a aquisição das informações de geolocalização do bloco GPS (Global Positioning System) utilizando uma SPI (Serial Peripheral Interface) e gera os pacotes de dados para a transmissão transmitindo-os ao data-link que por sua vez envia os pacotes ao servidor e informa o MCU1 sobre o status da transmissão. O sistema é alimentado eletricamente pelo SGP (Sistema de Gerenciamento de Potência) que é carregado por uma SPV (Silicon Photovoltaic).

### 3.2 Local da aquisição

O Brasil é um país continental e seu território ocupa uma grande faixa de latitudes. Isso implica, como citado no item 2, que a formação de sombras ocorre de forma diferente nas diferentes partes do território nacional, portanto, a escolha de um local médio para a coleta de dados se faz necessária. Contudo, uma simples média aritmética das latitudes das capitais brasileiras não é o suficiente, já que não contemplaria as variações da frota brasileira que é diferente entre os estados.

A partir dos dados do percentual esperado de licenciamento em cada estado no período de 2015 a 2025 (Noce et al., 2015), foi realizada uma média ponderada da latitude das capitais brasileiras em função da distribuição da frota de veículos entre os estados conforme Tab. 1.

Tabela 1 – Latitude baricêntrica do mercado automotivo brasileiro de 2015 a 2025

Estado	Latitude	%SL 2015-2025 Ajustado	SL x Lat	Estado	Latitude	%SL 2015-2025 Ajustado	SL x Lat
AC	-9.9747	0.29%	-0.0289	PB	-7.1150	1.32%	-0.0939
AL	-9.6658	0.82%	-0.0792	PE	-8.0539	3.24%	-0.2609
AM	-3.1019	0.68%	-0.0211	PI	-5.0892	1.22%	-0.0621
AP	0.0389	0.30%	0.0001	PR	-25.4278	6.69%	-1.7008
BA	-12.9711	4.21%	-0.5460	RJ	-22.9028	7.41%	-1.6968
CE	-3.7172	2.79%	-0.1037	RN	-5.7950	1.01%	-0.0585
DF	-15.7797	3.25%	-0.5127	RO	-8.7619	0.90%	-0.0788
ES	-20.3194	1.85%	-0.3758	RR	2.8197	0.22%	0.0062
GO	-16.6786	3.95%	-0.6587	RS	-30.0331	7.94%	-2.3841
MA	-2.5297	1.42%	-0.0359	SC	-27.5967	6.24%	-1.7217
<b>MG</b>	<b>-19.9208</b>	<b>13.73%</b>	<b>-2.7346</b>	SE	-10.9111	0.88%	-0.0960
MS	-20.4428	1.56%	-0.3188	SP	-23.5475	23.38%	-5.5043
MT	-15.5961	2.40%	-0.3742	TO	-10.2128	0.52%	-0.0531
PA	-1.4558	1.80%	-0.0262				
<b>Total</b>						<b>100.00%</b>	<b>-19.5206</b>



### 3.4 Frequência de aquisição

O envio de dados via SMS dos dispositivos de coleta de dados móveis limita a quantidade de dados a serem enviados devido ao seu custo. Foi necessário então que fosse selecionada uma frequência de envio que gerasse erro mínimo às análises com custo aceitável. Foram então analisadas diferentes frequências de agrupamento de dados de potência média e energia total fornecida durante um dia típico de forma a medir o erro gerado pela diminuição da frequência de agrupamento. O resultado obtido foi de uma frequência de agrupamento ótima de até 3 minutos, gerando um erro de menos de 0,1%. A frequência de envio escolhida, portanto, foi de 5,56 mHz (1 linha a cada 3 minutos).

### 3.5 Disponibilização dos dados

Os dados coletados são disponibilizados através de uma plataforma virtual acessada via web. Esta plataforma permite que o usuário visualize gráficos básicos do estado atual das unidades de coleta ou ainda que faça o download dos dados obtidos na íntegra.

## 4. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE SOMBREAMENTO

O fator de sombreamento é um índice utilizado para refletir eventuais bloqueios que a OPV pode sofrer devido a malha urbana e outros obstáculos à incidência solar. Para seu cálculo, foi utilizada como base as medições realizadas pela estação Campbell, que mede a incidência solar direta sobre uma placa estacionária. Os valores medidos foram comparados com medições realizadas por 9 dos 25 dispositivos instalados nos veículos entre os dias 01 de agosto e 30 de setembro de 2015, contemplando dados de um total de 61 dias. Considerando uma incidência semelhante sobre a estação e trajeto da OPV, a diferença vem de bloqueios apresentados pela malha urbana, como túneis, prédios e flora, por exemplo. Reserva-se uma margem de erro para cobrir eventuais diferenças de incidência entre estação e OPV, e considera-se que o impacto entre essas diferenças é menor do que o da malha urbana, devido ao fato que o trajeto ocorre nas proximidades da estação.

A potência elétrica é a taxa com a qual um determinado equipamento fornece ou absorve energia ao longo do tempo (Boylestad, 1998). Portanto, a energia gerada por uma célula fotovoltaica pode ser calculada integrando a potência no período de tempo desejado. Os dispositivos de medição móveis fornecem dados sobre a potência elétrica convertida pela OPV. Visto que a OPV possui uma eficiência de área ativa limitada (aproximadamente 2%) e uma área ativa de 72 cm<sup>2</sup>. Neste caso, aproxima-se o valor de energia disponível ao veículo durante todo o dia através da Eq. (2).

$$ASE = \frac{\int_0^{86400} P(t) \cdot dt}{\eta \cdot AA \cdot 10^6} \quad (2)$$

Onde:

**ASE** é a quantidade de energia solar disponível durante o dia em MJ/m<sup>2</sup>;

**P(t)** é a potência em função do tempo medida em W;

**η** é a eficiência da célula fotovoltaica utilizada para medição;

**AA** é a área ativa de conversão de energia em m<sup>2</sup>.

A Eq. (2) foi aplicada nos dados produzidos pelos dispositivos móveis durante os 61 dias analisados. Aplicou-se a Eq. (2) também aos dados fornecidos pela estação Campbell considerando uma eficiência de 100% e uma área ativa de 1m<sup>2</sup>. Esses dados foram comparados com a média diária dos valores medidos pelos dispositivos móveis através da Eq. (3) o que resulta na Tab. 2.

$$ASE = \frac{ASE_{\text{médio}}}{ASE_{\text{Campbell}}} \quad (3)$$

Tabela 2 – Determinação do fator de sombreamento

Dias	OPV06	OPV09	OPV13	OPV18	OPV21	OPV23	OPV24	OPV25	OPV26	ASE médio	ASE Campbell	UF <sub>R</sub>
01	-	16.75	17.31	16.44	15.39	15.00	10.91	16.84	14.58	15.40	17.54	88%
02	-	19.21	19.80	17.36	0.27	17.51	12.70	19.51	17.05	15.43	17.87	86%
03	-	15.31	3.02	12.24	12.57	12.95	9.44	18.30	12.32	12.02	18.86	64%
04	-	13.75	12.32	-	10.97	11.20	9.09	13.60	14.06	12.14	18.10	67%
05	-	12.54	13.64	-	-	12.98	9.02	7.84	14.97	11.83	19.07	62%
06	7.14	14.88	14.96	-	-	13.71	9.40	-	14.17	12.38	18.64	66%
07	18.40	18.06	13.92	-	-	11.72	8.68	-	13.80	14.10	19.27	73%
08	14.69	16.49	17.33	14.69	-	15.15	11.82	-	-	15.03	19.06	79%
09	9.30	9.21	9.17	9.64	6.32	8.17	6.63	-	-	8.35	9.51	88%
10	19.07	14.28	11.63	14.27	10.22	12.15	9.60	-	15.62	13.36	19.47	69%
11	18.88	13.87	14.81	17.48	9.15	9.50	8.40	-	16.30	13.55	18.50	73%
12	-	8.53	12.12	14.03	15.09	11.28	9.60	-	13.96	12.09	19.75	61%
13	-	-	17.07	13.70	13.25	12.45	11.74	-	15.52	13.95	17.87	78%
14	-	-	13.46	10.71	9.65	1.05	10.18	-	10.72	9.29	14.13	66%
15	-	-	19.83	16.15	11.66	-	15.50	-	13.85	15.40	20.25	76%
16	-	-	20.30	22.39	14.18	-	15.58	-	21.08	18.71	20.43	92%
17	-	-	4.53	20.78	10.48	14.96	8.55	-	19.60	13.15	18.93	69%
18	-	-	0.67	14.64	9.20	11.75	14.08	-	12.84	10.53	19.48	54%
19	-	-	0.86	15.57	12.48	13.22	15.52	-	17.88	12.59	18.47	68%
20	9.11	-	12.10	13.63	11.24	10.97	12.95	-	15.91	12.27	17.25	71%
21	13.61	-	15.54	15.31	12.17	14.40	9.77	-	15.76	13.80	19.72	70%
22	10.71	-	18.90	17.80	11.91	15.73	13.73	-	-	14.80	18.73	79%
23	2.94	-	21.85	19.51	13.18	18.04	15.55	-	-	15.18	20.54	74%
24	8.67	-	14.20	16.34	6.35	11.70	14.06	-	-	11.88	19.50	61%
25	20.74	-	14.10	16.40	-	11.14	13.44	-	-	15.16	18.56	82%
26	16.18	-	15.51	16.91	-	11.76	3.43	-	-	12.76	19.20	66%
27	19.59	-	18.93	14.67	-	9.40	0.10	-	-	12.54	18.51	68%
28	11.77	-	-	13.14	-	11.14	-	-	-	12.02	13.80	87%
29	20.12	-	-	14.41	-	17.52	-	-	-	17.35	19.75	88%
30	22.32	-	-	13.28	-	19.24	-	-	-	18.28	21.83	84%
31	20.15	-	-	16.26	-	16.28	8.50	-	-	15.30	22.10	69%
32	19.08	-	-	15.03	-	15.67	12.59	-	-	15.59	21.73	72%
33	20.44	-	-	18.25	-	15.18	10.10	-	-	15.99	21.42	75%
34	17.05	-	-	16.13	-	14.52	11.15	-	-	14.71	20.21	73%
35	17.40	-	-	16.06	-	13.24	13.18	-	-	14.97	19.58	76%
36	12.18	-	-	19.06	-	15.79	13.15	-	-	15.05	17.55	86%
37	18.18	-	-	18.78	-	16.76	13.41	-	-	16.78	17.22	97%
38	19.82	-	-	21.15	-	18.11	12.24	-	-	17.83	19.20	93%
39	4.82	-	-	1.62	-	4.82	4.76	-	-	4.00	5.75	70%
40	3.63	-	-	4.51	-	3.19	3.34	-	-	3.67	3.83	96%
41	5.87	-	-	3.36	-	-	4.33	-	-	4.52	8.19	55%
42	4.60	-	-	5.68	-	-	5.29	-	-	5.19	7.76	67%
43	8.07	-	-	8.04	-	-	0.01	-	-	5.37	9.64	56%
44	13.57	-	-	11.75	-	-	-	-	-	12.66	13.04	97%
45	12.45	-	-	12.73	-	-	-	-	-	12.59	17.55	72%
46	16.57	-	-	21.25	-	-	-	-	-	18.91	22.34	85%
47	18.65	-	-	9.51	-	-	-	-	-	14.08	23.57	60%
48	16.47	-	-	-	-	-	-	-	-	16.47	24.38	68%
49	21.93	-	-	-	-	-	-	-	-	21.93	24.51	89%
50	25.75	-	-	-	-	-	-	-	-	25.75	25.20	102%
51	25.09	-	-	-	-	-	-	-	-	25.09	24.81	101%
52	22.32	-	-	-	-	-	-	-	-	22.32	24.89	90%
53	18.67	-	-	-	-	-	-	-	-	18.67	23.91	78%
54	7.57	-	-	-	-	-	-	-	-	7.57	22.85	33%
55	18.49	-	-	-	-	-	-	-	-	18.49	23.42	79%
56	15.89	-	-	-	-	0.16	-	-	-	8.03	22.63	35%
57	21.67	-	-	-	-	-	-	-	-	21.67	21.76	100%
58	22.47	-	-	-	-	-	-	-	-	22.47	22.87	98%
59	15.95	-	-	-	-	0.10	-	-	-	8.03	19.48	41%
60	4.38	-	-	-	-	4.39	-	-	-	4.38	6.73	65%
61	10.56	-	-	-	-	10.45	-	-	-	10.51	13.72	77%
Média												75%

Conclui-se, portanto, que o fator de utilização devido ao sombreamento mais indicado a ser usado no Brasil é de 0,75 ou 75%. Se comparado com o fator utilizado na Europa que é de 0,51 ou 51%, essa diferença se deve às diferentes arquiteturas urbanas e flora encontrados em ambos os países. Levando em conta a Eq. (1), se utilizarmos a mesma tecnologia de geração de energia fotovoltaica na Europa e no Brasil, conforme exemplo do capítulo 2, considerando apenas a diferença no fator de sombreamento a quantidade de créditos fora do ciclo de homologação de serem reivindicados seriam 3.96 gCO<sub>2</sub>/km ao invés de 2.69 gCO<sub>2</sub>/km, ou seja, 47,2% a mais.

## 5. CONCLUSÃO

Esse estudo preliminar permitiu constatar um alto potencial de geração de energia sem a utilização de combustíveis fósseis especialmente quando se observa uma diferença significativa entre o fator de sombreamento constatado em localidades do estado de Minas Gerais e o utilizado pelo guia europeu EC 443/2009 (2013). Para uma avaliação mais detalhada, os estudos continuarão por mais um ano, principalmente na coleta de dados ao longo das estações do ano. Os dados coletados serão utilizados de forma a repetir a análise, contribuindo para o melhor entendimento do fator de sombreamento no Brasil.

### Agradecimentos

A equipe do projeto agradece o corpo técnico da:

- FCA Group;
- CSEM Brasil - Centro Suíço de Eletrônica e Microtécnica;
- GREEN Solar – IPUC, da PUCMinas;
- Analógica instrumentação e controle;
- OpenCadd;
- BNDES.

Agradece também:

- Clemente Ávila – MSX;
- Oldemar De Melo Junior – FCA Group;
- Regina Fernandes – MSX;
- Rafael O. Barreto – GREEN Solar – IPUC.

### REFERÊNCIAS

- Boylestad, R. L., Introdução à Análise de Circuitos. Traduzido por: Souza, J. A. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998 v.8 p.64.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken: Wiley, 2013. v.4 p.12-30.
- European Commission Directorate-General Climate Action The Joint Research Centre, Technical Guidelines for the preparation of applications for the approval of innovative technologies pursuant to Regulation (EC) No 443/2009 of the European Parliament and of the Council (version: February 2013).
- Horfierka, J., Kaňuk, J., Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools, Renewable Energy. Amsterdam: Elsevier, 2009. v.34 p.2206-2214.
- Iorio, R., Pollution convergence. Apresentado à Hybrid Powertrain Summit, Agosto de 2013, London.
- Mock, P., EU CO<sub>2</sub> standards for passenger cars and light-commercial vehicles. CO<sub>2</sub> standards. ICCT: 2014. Disponível em <[http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_EU-95gram\\_jan2014.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU-95gram_jan2014.pdf)>. Acesso em 21 de outubro de 2015.
- Noce, T., Paoli, F., Martins, A., Hanriot, S., Maia, C., Sodré, R., Weighted average solar irradiation in Brazil for CO<sub>2</sub> off-cycle credits using a battery charging solar roof. Apresentado à SAE International, 2015.
- Robinson, D., Stone, A. Solar radiation modelling in the urban context. Solar Energy. Amsterdam: Elsevier, 2004. v.77 p.295-309.

### SHADING FACTOR IN BRAZIL FOR CO<sub>2</sub> OFF-CYCLE CREDITS USING A VEHICULAR BATTERY CHARGING SOLAR ROOF WITH OPV

**Abstract.** *The limits of tailpipe CO<sub>2</sub> emissions are getting lower worldwide, and therefore the automobile manufacturers are looking for both on-cycle and off-cycle technologies to reduce these emissions. Some of these new innovative technologies are so called eco-innovations. One of them is battery charging solar roof with OPV modules to claim off-cycle credits of CO<sub>2</sub>. In Europe the appliance for off-cycle CO<sub>2</sub> credits is already regulated by the document EC No 443/2009, that establishes that the shading factor in Europe is 51%. In Brazil, where both the flora and the urban architecture are different, the shading factor has not been calculated. This work presents the medium shading factor in Brazil according to measurements realized in rural and urban areas of Minas Gerais. The objective is to use this data in calculations of CO<sub>2</sub> off-cycle credits using a battery charging solar roof.*

**Key-words:** *Battery charging solar roof, Shading factor, CO<sub>2</sub> credits.*