



## UTILIZAÇÃO DE TINTAS COLORIDAS NA SUPERFÍCIES EXTERNA DE BIODIGESTORES CSTR PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO UTILIZAÇÃO DE TINTAS COLORIDAS NA SUPERFÍCIES EXTERNA DE BIODIGESTORES CSTR PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

Gabriel Franzon (\*), Anna Eduarda Rocha Madureira, Larissa Schmoeller, Giovane Pereira Maestrello, Bruna Smaniotto

\* Centro Internacional de Energia Renováveis-Biogás, gabriel.f@cibiogas.org

### RESUMO

Para os biodigestores que utilizam os microorganismos na faixa mesofílica, operarem de forma ideal, é necessário adicionar um sistema de aquecimento, porém, com isto há um aumento de custo do processo. Sendo assim, este trabalho possui como objetivo apresentar os conceitos de utilização de cores para o melhoramento do sistema de aquecimento de biodigestores do tipo CSTR de mistura completa, onde foi realizado um experimento em que foram feitas medições de temperatura de várias cores em 32 pontos em volta do biodigestor ao longo de um dia. No experimento, teve como resultado que a cor preta possui a maior absorvância solar, seguida da cor azul, verde, vermelha amarela e branca. Além disto, resultou que se pintar este tipo de biodigestor da cor preta, ele terá uma economia no sistema de aquecimento de 18,3% em relação a cor branca, enquanto que se o mesmo for colorido ele possui uma economia de 9,73% em relação a cor branca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aquecimento, Biodigestor, Perda de Calor, Radiação Solar.

### ABSTRACT

For the biodigestors that use the microorganisms in the mesophilic range, to operate in an ideal way, it is necessary to add a heating system, however, with this there is an increase in the cost of the process. The objective of this work was to present the concepts of color utilization for the improvement of the CSTR biodigester heating system, where an experiment was carried out in which temperature measurements of several colors were made at 32 points in around the biodigester over the course of a day. In the experiment, the black color had the highest solar absorption, followed by blue, green, red, yellow and white. In addition, it turned out that if you paint this type of biodigester of the black color, it will have a saving in the heating system of 18.3% in relation to the white color, whereas if it is colored it has a saving of 9.73% in relation to white color.

**KEY WORDS:** Heating, Biodigestion, Heat loss, Solar Radiation.

### INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da demanda de energia elétrica no cenário nacional, espera-se que o Brasil precisará aumentar sua produção em aproximadamente 20% até o ano de 2026 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2018). O Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás (CIBiogás) em parceria com a Itaipu Binacional, buscam o desenvolvimento sustentável e novas tecnologias para obtenção de energia, onde surgiu a Unidade de Demonstração Itaipu (UD Itaipu), no qual foram construídos dois biorreatores do tipo CSTR de mistura completa e que utilizam resíduos do complexo de Itaipu e de outros parceiros. A planta está em operação desde de 2016 e os dois biodigestores juntos possuem um volume de 700 m<sup>3</sup> e produzem aproximadamente 4000 m<sup>3</sup> de biometano por mês, sendo que o biogás produzido é utilizado como energia veicular, abastecendo uma frota de carro de Itaipu.

Esses tipos de biodigestores possuem uma alta tecnologia implantada, pois buscam aumentar a produção de biogás ao máximo. Dentre os principais parâmetros controlados por essas plantas estão: a temperatura, o pH, o Tempo de retenção hidráulica (TRH), volume de sólidos inserido, qual sólido é inserido e agitação (ROHTOFFE, 2010).

A temperatura possui um destaque especial, pois ela têm grande influência na produção de biogás, quanto para o TRH. Os biodigestores podem trabalhar em três faixas de temperatura, sendo as psicrófilas que operam abaixo de 25° C, as mesofílicas que operam entre 35 a 42° C e as termofílicas que atuam entre 50 a 60° C, sendo essa última, os microorganismos mais sensíveis das três (SOUZA; JUNIOR; FERREIRA, 2005; ROHSTOFFE, 2010).



A UD Itaipu opera na faixa mesofílica, no qual foi necessário adicionar um sistema de aquecimento para que estes operem na sua condição ideal. Visando melhorar a eficiência da planta, este trabalho busca estudar o efeito das cores quanto a sua absorção solar, para verificar o efeito ao pintar os biodigestores e consequentemente analisar a quantidade de energia que será economizada.

Dornelles, Caram e Sichieri (2014) dizem que ao utilizar tintas coloridas, considerando o material da tinta, a cor, a rugosidade, a ondulação e a manutenção correta, quando se quer ou não quer aproveitar a energia solar, possui uma grande influência no aumento da temperatura superficial, resultando em valores de grande significância para o caso de conforto térmico.

Buscando a pesquisa e o desenvolvimento do biogás na região Oeste do Paraná, este trabalho foi patrocinado pela Companhia Paranaense de Energia (Copel) e fruto de um P&D ANEEL (PD-06491-0287/2012).

## OBJETIVOS

Este relatório possui como objetivo mostrar que, a utilização de cores de alta absorvância aplicada na superfície dos biorreatores da Unidade de Demonstração Itaipu Binacional (UD Itaipu) facilita a captação da radiação solar incidente sobre o mesmo, com o intuito de aproveitamento energético e diminuição com gastos em sistemas de aquecimento. Além de apresentar um conceito básico sobre a perda de calor dos biodigestores CSTR.

## METODOLOGIA

Com a finalidade estimar a quantidade de energia solar os biodigestores da UD Itaipu podem absorver, foram realizadas medidas da temperatura superficial de alguns pontos expostos ao sol, onde esses pontos foram utilizados fitas adesivas coloridas para a verificação da temperatura para cada cor. O experimento foi realizado em um dia com céu sem nuvens na cidade de Foz do Iguaçu, PR (25° S, 54° O, 164 m).

Para a realização do experimento foram realizadas medições em 32 pontos do biorreator, a cada 1 metro, onde foi utilizado fita adesiva para verificar a temperatura de acordo com cada tipo de cor com um espaço tempo de uma hora entre uma medida e outra, de tal forma que foram realizadas medidas das 10:00 até as 18:00 horas.

Além disto, o termopar utilizado para a realização do experimento foi o “62 mini ir thermometer fluke”, no qual é um termômetro digital infravermelho com capacidade de medir de -30° C até 500° C, enquanto que a temperatura ambiente foi medida por um PT100, que está instalado na própria unidade.

A Figura 01 e a Figura 02 mostram onde e como foram colados os adesivos para realização das medições. Deve-se atentar ao fato que uma parte do biorreator é sombreado pela plataforma de acesso aos tanques, e no período da manhã existem árvores e o barracão de preparo da biomassa que bloqueiam a passagem de radiação solar direta em uma parte do biodigestor, sendo possível apenas tirar as medidas a partir das 10:00 horas, existe também a casa de controle, que ao final da tarde a mesma bloqueia a radiação solar direta no biodigestor. Desta forma, os pontos 32, 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07 possuem parte da radiação solar direta bloqueada na parte da manhã, enquanto que os pontos 20, 19, 18, 17, 16, 15 e 14 no final da tarde. Os pontos 25, 26, 27, 28 e 29 possuem sombra todo dia devido a plataforma de inspeção.

Para calcular a perda de calor do biodigestor foi utilizado os conceitos de transferência de calor, onde para simplificar o modelo, foi considerado que a placa superior do biodigestor como uma placa plana, cuja resistência térmica ocorre segundo a equação 1.

$$R_{t,cond} = L / (k \cdot A) \quad \text{equação (1)}$$

Sendo A a área do meio, L a espessura da placa plana e K o coeficiente de transferência de calor por condução (INCROPERA et al, 2007; ÇENGEL; GHAJAR, 2011). O corpo do biodigestor é cilíndrico, então deve-se utilizar a equação 2.

$$R_{t,cond} = \ln (r_2 / r_1) / (2 \cdot \pi \cdot L \cdot K) \quad \text{equação (2)}$$

Sendo,  $r_1$  e  $r_2$  os raios internos e externos respectivamente, A é a área lateral, L é a altura do biodigestor e K o coeficiente de transferência de calor por condução (INCROPERA et al, 2007; ÇENGEL; GHAJAR, 2011). Outro fator a ser considerado é a biomassa inserida diariamente, no qual utiliza o balanço de energia mostrado pela equação 3.



$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_e - T_i)$$

equação (3)

Onde,  $m$  é a massa,  $C_p$  é o calor específico,  $T_1$  e  $T_2$  é a temperatura inicial e a final respectivamente e (ÇENGEL; BOLES, 2011).



Figura 01: Local onde foram colocadas as fitas para as medições. Fonte: Autor do Trabalho.

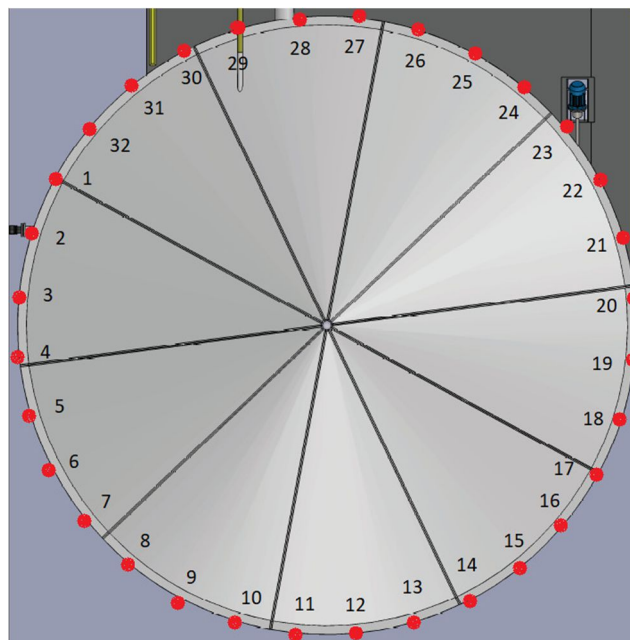
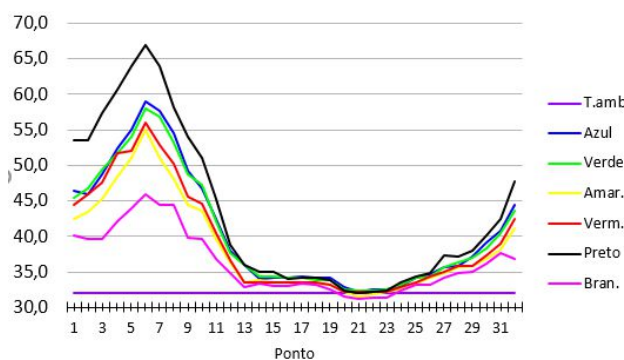
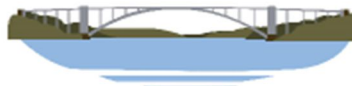


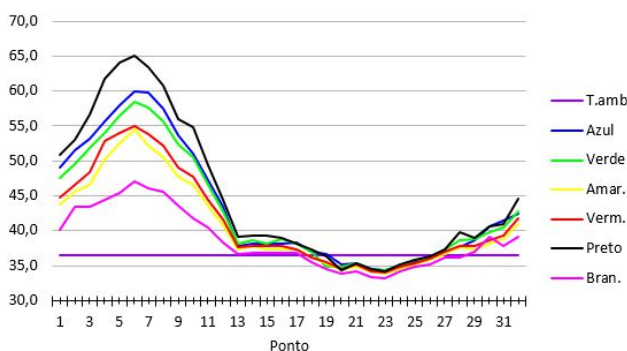
Figura 02: Pontos onde as fitas foram alocadas para as medições. Fonte: Autor do Trabalho.

## RESULTADOS

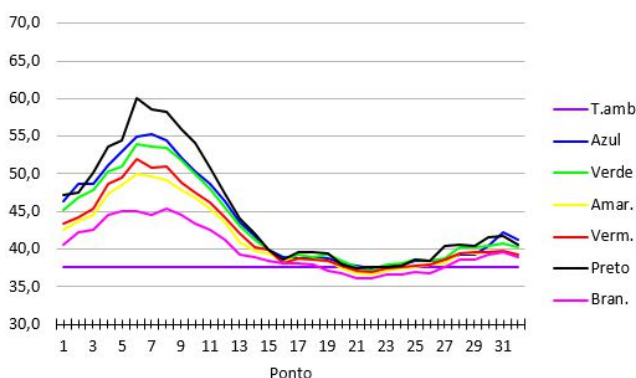
Após a retirada dos dados, os mesmos foram adicionados em vários gráficos com a finalidade de compreender o comportamento da temperatura de acordo com o andar do sol em um dia. A Figura 03, Figura 04, Figura 05, Figura 06, Figura 07, Figura 08, Figura 09, Figura 10, Figura 11 e Figura 12 mostram os resultados obtidos.



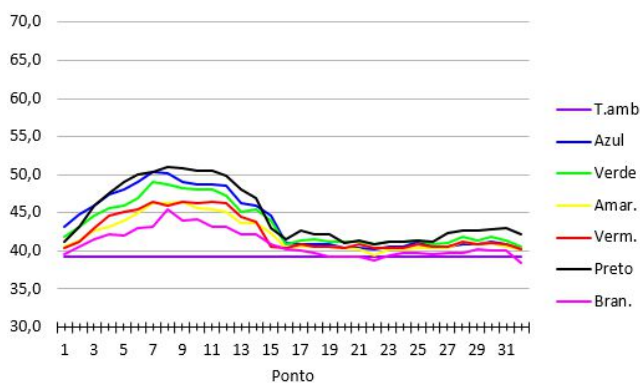
**Figura 03: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 10:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 04: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 11:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 05: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 12:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 06: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 13:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.**

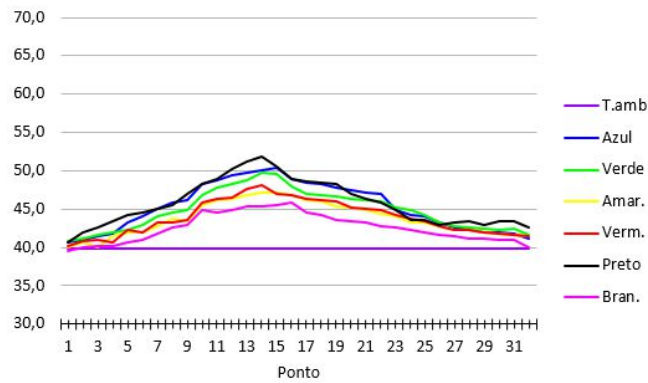


Figura 07: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 14:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.

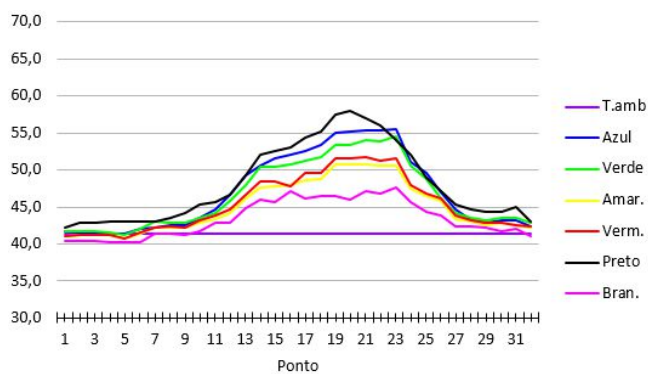


Figura 08: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 15:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.

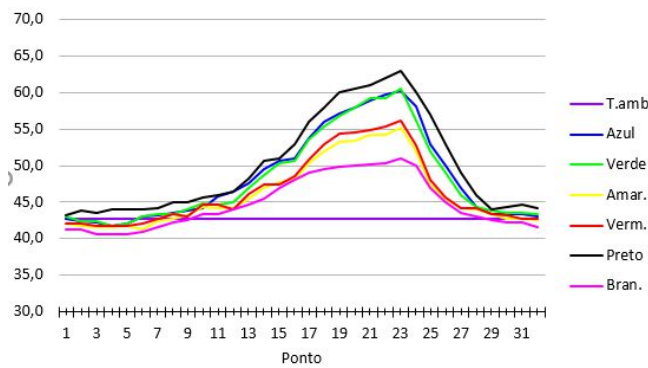


Figura 09: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 16:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.

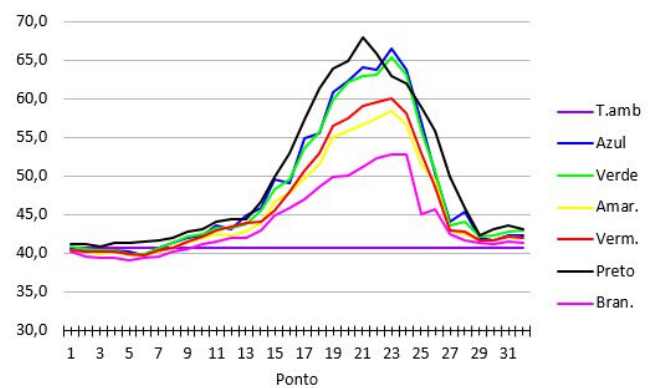
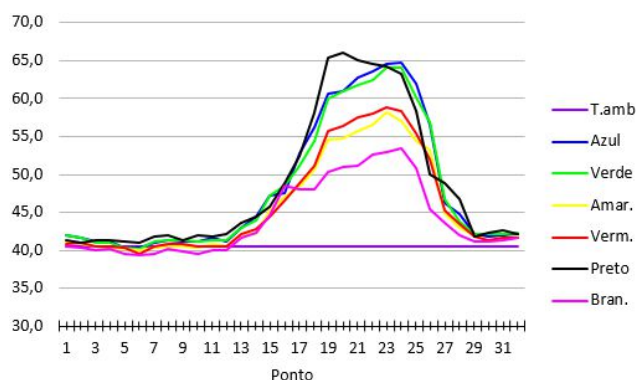
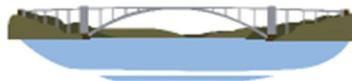
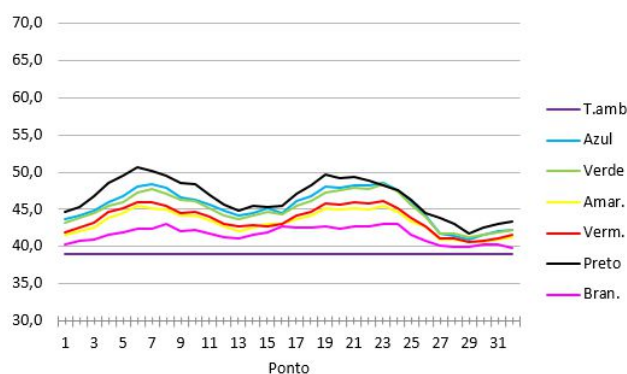


Figura 10: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 17:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.



**Figura 11: Temperatura ajustada nos pontos de medição às 18:00 horas. Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 12: Temperatura média ajustada das cores nos pontos de medição ao longo do dia. Fonte: Autor do Trabalho.**

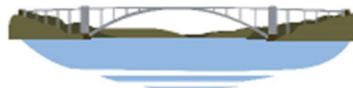
Esses gráficos mostram que a cor preta possui uma maior absorvância final, resultando em uma maior temperatura, seguido de azul e verde, enquanto que as cores amarela, vermelha e branca possuem as menores taxas. Quando se analisado a radiação direta incidente em cima das medidas há uma variação de temperatura significativa, resultando em uma variação de até 20°C quando comparado a cor preta com a cor branca. As Figura 05, Figura 06, Figura 07 e Figura 08 possuíam uma baixa variação quando a radiação estava incidente, isso é devido ao caso de o sol estar mais alto, resultando em um aquecimento maior na superfície superior do biodigestor em vez do aquecimento lateral.

Para este estudo, foi considerado que a temperatura de operação do biodigestor é de 35,5° C, que o coeficiente de condução da parede do biodigestor é de 0,0364 W/m.K e que as espessuras das paredes lateral e superior são respectivamente 0,05 e 0,03 m. Também foi considerado que a entrada de biomassa diária é de 5 m³ com uma temperatura de 23° C. O biodigestor possui 10 m de diâmetro e uma altura de 5 m, já a cúpula possui 2 m de altura.

Além disto foi considerado que a superfície do biodigestor operará em três faixas de temperatura, sendo a que possui radiação solar direta, a que a radiação solar parcialmente incidente e a área que está na sombra, do lado contrário a radiação direta incidente no biodigestor. Será considerada radiação direta incidente, quando a variação de temperatura medida da cor preta for maior que 10° C, será considerada parcialmente incidente quando essa incidência for de 2° C a 9,99° C e será considerado sombra quando a diferença de temperatura for menor que 2° C.

Desta forma, a Tabela 01 mostra os resultados obtidos ao encontrar a média do fluxo de calor, enquanto a Tabela 02 apresenta o fluxo de calor no biodigestor quando está no horário noturno e quando é inserido a biomassa para manter o fluxo do mesmo. Quando o fluxo apresentar negativo, quer dizer que existe calor entrando dentro do biodigestor naquele momento, enquanto que quando o valor for positivo, significa que o sistema está perdendo calor.

Com isto é determinado a perda de calor para cada tipo de cores, onde a Tabela 03, mostra os resultados do fluxo de calor por dia em cada uma das seções e a eficiência de cada sistema comparado com a cor branca. Nesta tabela foi considerado que há 12 horas de noite, 12 horas de dia e que é inserido 5m³ de biomassa no dia.

**Tabela 01: Fluxo de calor em um determinado período por cor. Fonte: Autor do Trabalho.**

Seção	Fluxo de calor (Kcal/t)
Branca (9 horas)	-12594,4
Média do fluxo na cor branca (1 hr)	-1399,4
Branca (12 horas)	-16792,5
Colorida (9 horas)	-16690,5
Média do fluxo nas cores coloridas (1 hr)	-1854,5
Colorida (12 horas)	-22254,0
Preta (9 horas)	-20296,9
Média do fluxo na cor preta (1 hr)	-2255,2
Preta (12 horas)	-27062,5

**Tabela 02: Fluxos de calor da biomassa inserida diariamente e da perda de calor de noite. Fonte: Autor do Trabalho.**

Seção	Fluxo de calor (Kcal/t)
Biomassa inserida diariamente (24 horas)	52297,1
Perda de calor noturno (12 horas)	20612,9

**Tabela 03: Fluxos de calor para cada tipo de cor, durante um dia. Fonte: Autor do Trabalho.**

Seção	Fluxo de calor (kcal/dia)	Economia (kcal/dia)	Fluxo de calor (kWh/dia)	Economia (kWh/dia)	% do fluxo de calor
Cor branca	56118	0	65,22	0	100
Colorida	50656	5462	58,87	6,35	90,27
Cor preta	45848	10270	53,29	11,93	81,7

A Tabela 03 mostra que a cor preta possui a menor quantidade de fluxo de calor no sistema, em seguida vem as seções colorida e por último a seção de cor branca. Desta forma, caso o biodigestor seja pintado de várias cores o mesmo pode ter uma diminuição no gasto do sistema de aquecimento em 9,73%, enquanto que se pintar o biodigestor de preto, o mesmo pode diminuir esse gasto em 18,30%.

Já a Tabela 04 mostra o quanto se economizará por dia e ao longo de um mês ao pintar o biorreator, sendo que foi considerado neste cálculo que o poder calorífico de gás liquefeito de petróleo (GLP) de 11500 kcal/kg e com um custo de R\$ 6,42 o quilograma, enquanto que o aquecedor possui uma eficiência de 0,85. A Tabela 05 mostra o caso ao utilizar um aquecedor a energia elétrica que possui eficiência de 90% e com custo de R\$ 0,75/kWh.

**Tabela 04: Custo diário e mensal ao pintar o biorreator em Kcal. Fonte: Autor do Trabalho.**

Seção	Diária (R\$/dia)	Mensal (R\$/mês)	Economia (R\$/dia)	Economia (R\$/mês)
Cor branca	36,86	1105,80	0	0
Colorida	33,27	998,12	3,59	107,70
Cor preta	30,11	903,30	6,75	202,50

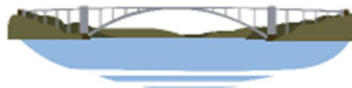
**Tabela 05: Custo diário e mensal ao pintar o biorreator em kWh. Fonte: Autor do Trabalho.**

Seção	Diária (R\$/dia)	Mensal (R\$/mês)	Economia (R\$/dia)	Economia (R\$/mês)
Cor branca	54,34	1663,80	0	0
Colorida	49,06	1471,80	5,28	158,40
Cor preta	44,40	1332,00	9,94	298,20

Com isto, é possível perceber que o valor economizado é relevante quando se comparado com o custo final ao não ser pintado. Porém deve-se atentar que os dados retirados para este relatório, possuiu valores de um dia com a temperatura ambiente elevado e um dia sem nuvens para bloquear a radiação solar incidente.

## CONCLUSÕES

Desta forma, é possível dizer que ao utilizar tintas coloridas para o aproveitamento energético da radiação solar pode ser viável economicamente, pois ao considerar que o biodigestor seja pintado de várias cores, o mesmo pode ter uma



diminuição no gasto do sistema de aquecimento de R\$ 107,7 caso seja utilizado GLP ou de R\$ 158,40 se considerado energia elétrica, enquanto a pintura somente na cor preta, a economia será de R\$ 202,50 quando utilizado GLP ou R\$ 298,20 se considerado energia elétrica. Com isso, podemos concluir que pode se ter uma redução de 9,73% em gasto de energético, se o biorreator for pintado de colorido, enquanto com a cor preta, a economia será de 18,30%.

Além disto é necessário lembrar que mesmo tintas de mesma cor podem variar os dados, pois além de possuir propriedades diferentes as mesmas podem ser específicas para absorção ou reflexão da radiação solar.

Com isto, pintar o biorreator de cor preta diminui consideravelmente o consumo energético de aquecimento, porém esta cor não é esteticamente bonita, desta forma o ideal seria utilizar cores escuras como o azul, verde, marrom e outros, pois desta forma aproveitará uma grande parte da radiação incidente e ao mesmo tempo melhorar a estética do biorreator.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Çengel, Y. A., Boles, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed. 1018 p. Porto Alegre: Amgh, 2011.
2. Çengel, Y. A., Ghajar A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4.ed. [S.l.]: McGraw Hill; [S.l.]: bookman, 2012
3. Dornelles, K. A., Caram, R. M., Sichieri, E. P. **Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo**. Paranoá, Brasília, no 12, p. 55-64, 2014.
4. Empresa de Pesquisa Eenergética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/PDE2026.pdf/474c63d5-a6ae-451c-8155-ce2938fbf896>>. Acesso em: 14 de abril de 2019.
5. Incropera, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008
6. Rohtoffe, F. N. (Ed). **Guia prático do biogás: geração e utilização**. Tradução Marcos de Miranda Zattar. 5. ed. Gülzow, DE: [s.n], 2010. Disponível em: <<https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.
7. Souza, C. F., Junior, J. L., Ferreira, W. P. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida**. Eng. Agríc., Jaboticabal. v. 25, n. 2, p.530-539, 2005