

## ENERGIAS RENOVÁVEIS

### TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS POR MEIO DA RADIAÇÃO SOLAR

**Yuri Tomaz Neves** – yuutomaz@gmail.com  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

**Laercio Leal dos Santos** – laercioeng@yahoo.com.br  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

**Erick dos Santos Leal** – erickleal21@gmail.com  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

**Bruno Menezes da Cunha Gomes** – brunomenezes03@hotmail.com  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

**Resumo:** No Brasil, principalmente no semiárido, as águas subterrâneas representam uma importante alternativa para minimizar os problemas de escassez hídrica. Porém, a ausência de saneamento em parte das cidades, compromete sua qualidade, exigindo tratamento adequado para viabilizar seu consumo. Com ênfase na realidade social, cultural e econômica da população da zona rural e das pequenas comunidades, este artigo propõe um sistema de tratamento de água unifamiliar, tendo como base os resultados obtidos por meio de um protótipo de baixo custo, que utiliza a radiação solar para melhorar os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas. O protótipo é constituído por um garrafão de água de 20L, uma placa de zinco e uma mangueira flexível cristal. A água a ser tratada foi armazenada no garrafão e utilizando a mangueira sobre a placa de zinco foi exposta, por um período de 6 horas, à radiação solar. Os resultados obtidos permitiram concluir que o sistema é bastante eficaz na eliminação dos poluentes bacteriológicos presentes nas águas subterrâneas do município. Com isso foi possível verificar que o protótipo desenvolvido apresenta um forte indicativo de viabilidade para tratamento de água, o que proporcionou a elaboração de uma proposta para um novo sistema, no qual se pretende tratar 500L de água por dia.

**Palavras-chave:** Águas subterrâneas, Tratamento de água, Radiação solar.

#### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A água é um recurso natural essencial à vida e ao desenvolvimento das comunidades humanas. Independente do estágio de desenvolvimento ou condição sócio-econômica, deve atender às necessidades humanas em seus diversos aspectos: fisiológicos, econômicos e domésticos (ONU, 1992).

Na microrregião do Curimataú Oriental, a seca alcançou o seu ponto mais extremo, onde o açude Canafístula II, que abastece diversos municípios, chegou a secar, encontrando-se atualmente com 20,9% de sua capacidade total (AESAs, 2016).

Frente a esse cenário, a população rural e urbana desses locais tem cada vez mais recorrido à utilização de águas subterrâneas. Segundo Zaporozec & Miller (2016), o uso do solo, em zonas urbana, industrial e agrícola, pode resultar na poluição dessa fonte com substâncias químicas, metais pesados, nitratos, bactérias e vírus, ocasionando riscos à saúde das pessoas.

Para evitar esse problema, faz-se necessário buscar um sistema de tratamento de água alternativo que possa atender as necessidades e que reduza os custos de implantação e operação, oferecendo condições de saneamento satisfatórias para a população. A escolha do tipo de tratamento dependerá de fatores econômicos, sociais, geográficos e da qualidade físico – química e microbiológica da água a ser tratada.

Para atender a esta diversidade, vários estudos nacionais e internacionais de métodos alternativos de tratamento de água estão sendo realizados. Um desses métodos é a desinfecção por radiação solar.

De maneira oposta a grande parte dos agentes desinfetantes que na maioria das vezes são utilizados em águas, a técnica de tratamento por meio de radiação solar não inativa os microrganismos por meio de reações químicas. A inativação ocorre através da absorção, pelos microrganismos, dessa luz que contém alta energia, estimulando as reações fotoquímicas com os componentes fundamentais das células, interrompendo o mecanismo de duplicação ou provocando a sua morte (DANIEL *et al.*, 2001).

O oxigênio presente na água produz juntamente com a radiação solar uma reação que origina formas altamente reativas de oxigênio. Essas moléculas também interferem na composição estrutural das células e matam os microrganismos patogênicos (SODIS, 2016).

De acordo com Witt & Reiff (1996), o comprimento de onda em que pode realizar-se o tratamento de água com radiação UV é na faixa de 240 a 280 nanômetros (nm). Eles também afirmam que utilizando esse método, a água pode ser desinfetada independente de seu grau de contaminação.

Cotton *et al.*, (2001) afirmam que a dose de UV necessária para inativar os microrganismos varia entre as diversas espécies e através da classificação dos microrganismos.

Dentre as principais vantagens do processo de desinfecção solar, tem-se: diminui a necessidade de fontes tradicionais de energia que poluem o meio ambiente como gás, querosene e lenha; melhora a saúde familiar; possibilita o discernimento da educação sobre higiene e saúde; método simples de desinfecção que não requer infraestrutura cara; otimiza a qualidade microbiológica da água para o consumo humano e; vantagem econômica para as famílias (SODIS, 2016).

Com ênfase na realidade social, cultural e econômica da população da zona rural e das pequenas comunidades, este artigo propõe um sistema de tratamento de água unifamiliar, tendo como base os resultados obtidos por meio de um protótipo de baixo custo que utiliza a radiação solar para melhorar os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas.

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba, no município de Araruna – PB, que está localizado na mesorregião do agreste Paraibano. O município possui uma área de 241,302 km<sup>2</sup>, com uma população de 18.879 habitantes (IBGE,

2016). O seu sistema aquífero é o Serra dos Martins (PARAÍBA, 2006). O seu regime climático é quente, com chuvas de inverno, sendo a sua precipitação e temperatura média mensal de 71mm e 22,2°C, respectivamente (BDCLIMA, 2016).

Para a aplicação da técnica foi desenvolvido um protótipo constituído por um garrafão de água de 20L conectado, através de uma torneira, a uma mangueira flexível cristal com comprimento de dez metros e diâmetro de uma polegada. A mangueira foi fixada por presilhas sobre uma placa de zinco de formato quadricular com comprimento de lado igual a um metro. Após todo o processo de montagem, o sistema foi instalado em local de maior aproveitamento de incidência solar, colocando o garrafão de água, com a água não tratada, em nível elevado ao da placa, de maneira que o líquido fluísse por gravidade passando pelo conduto até chegar à outra extremidade (Figura 1).



Figura 1 – Protótipo montado e instalado.

Foi analisada a água de dois pontos de água subterrânea do município, um com coordenadas UTM na zona 25 N197284 e E9276799 (Poço 1) e outro com coordenadas UTM na zona 25 N197101 e E9277467 (Poço 2), ambos com profundidade de aproximadamente 20m.

Para obter os dados referentes à radiação solar e temperatura ambiente, foi utilizada a estação hidroclimatológica que está situada no Campus, onde com os dados fornecidos foi calculada uma média para o período de exposição, visto que o equipamento fornece dados para tais parâmetros de cinco em cinco minutos, sendo possível obter uma radiação solar e uma temperatura ambiente de 366,7 W/m<sup>2</sup> e 29,4°C, respectivamente.

A água dos poços foi exposta das 09:00h às 15:00h, pois segundo os dados da estação hidroclimatológica, é o horário que apresenta maior incidência solar.

Para avaliar a qualidade da água, foram analisadas duas amostras, uma da água *in natura* e outra após o tratamento. A coleta e preservação das amostras foram feitas seguido os padrões estabelecidos pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, publicado pela Cetesb & Ana (2011). O Quadro 1, a seguir, apresenta os parâmetros analisados e os respectivos métodos utilizados para sua obtenção:

Quadro 1 - Métodos utilizados para determinação dos parâmetros.

Parâmetro	Método Utilizado
Turbidez	Absorptometric Method – 8237
Cloreto	Método Argentométrico – NBR 5759:1975
Dureza total	Método Titulométrico do EDTA – Na – NBR 12621:1992
pH	Método Eletrométrico - NBR 14339:1999
Coliformes termotolerantes	Método dos Tubos Múltiplos - CETESB L5 202/93
Coliformes totais	Método dos Tubos Múltiplos - CETESB L5 202/93

Todo o estudo foi desenvolvido durante um período de aproximadamente 3 meses, sendo o desenvolvimento do protótipo e a coleta das amostras realizadas pelos autores do trabalho e as análises realizadas por laboratório contratado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 RESULTADOS OBTIDOS COM O PROTÓTIPO

Após realizar todo o procedimento, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 1 - Variação de parâmetros físico-químicos e microbiológico.

Parâmetros	Padrão de Potabilidade (Brasil, 2011)	Poços (6h de Exposição)			
		Poço 1		Poço 2	
		In natura	Após o processo	In natura	Após o processo
pH	6,0 a 9,5	5,12	5,24	5,44	5,53
Cloreto (mgCl/L)	250*	120	117	136	135
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	500*	115	110	132	120
Turbidez (FTU)	5*	75,16	29,61	83,63	39,10
Coliformes totais (NMP org./100 ml)	Ausente	510	<1,8	540	<1,8
Coliformes termotolerantes (NMP org./100 ml)	Ausente	200	<1,8	240	<1,8
Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )			366,7		
Temperatura Ambiente (°C)			29,4		

\*Valor máximo permitido

Analisando a Tabela 1 é possível verificar que apenas o pH e a Turbidez ficaram fora dos Padrões exigidos pela Portaria MS 2.914/11 (Brasil, 2011). A eficácia do sistema para com esses parâmetros foram semelhantes aos obtidos por Costa *et al.*, (2007). Utilizando garrafas PET transparentes expostas a radiação solar nas condições de com e sem reflexão da energia solar por chapa laminada, para o tratamento da água da Lagoa do Jiqui (NATAL – RN) Costa *et al.*, (2007) obtiveram os seguintes resultados:

Tabela 2 – Variação do pH e da Turbidez com 7h de exposição.

Parâmetro	Controle	Sem chapa	Com chapa
pH	6,37	6,42	6,41
Turbidez (NTU)	10,00	7,40	9,00

Fonte: Costa *et al.*, (2007) (Adaptada).

Os resultados obtidos para o pH valida a aplicação da técnica, que de acordo com Silva (2004) não apresenta variação considerada relevante no pH da água após a desinfecção.

No que diz respeito as análises dos Coliformes Totais e Termotolerantes verifica-se que os resultados obtidos comprovam a eficácia do sistema tendo em vista que na metodologia dos tubos múltiplos o resultado <1,8 significa ausência de coliformes na amostra ensaiada. Costa *et al.*, (2007) obtiveram os seguintes resultados para com a eficiência do processo:

Tabela 3 – Eficiência do sistema com 7h de exposição.

Parâmetro	Sem chapa	Com chapa
Coliformes totais (NMP org./100 ml)	78,33 %	79,95 %
Coliformes termotolerantes (NMP org./100 ml)	81,46 %	85,72 %
Temperatura máxima da água (°C)	40,00	40,00

Fonte: Costa *et al.*, (2007) (Adaptada).

Silva *et al.*, (2013) utilizando garrafas PET pintadas em sua metade inferior de preto, expostas a radiação solar e a uma temperatura ambiente média de aproximadamente 32,3°C para o tratamento de águas de cisternas, obtiveram os seguintes resultados:

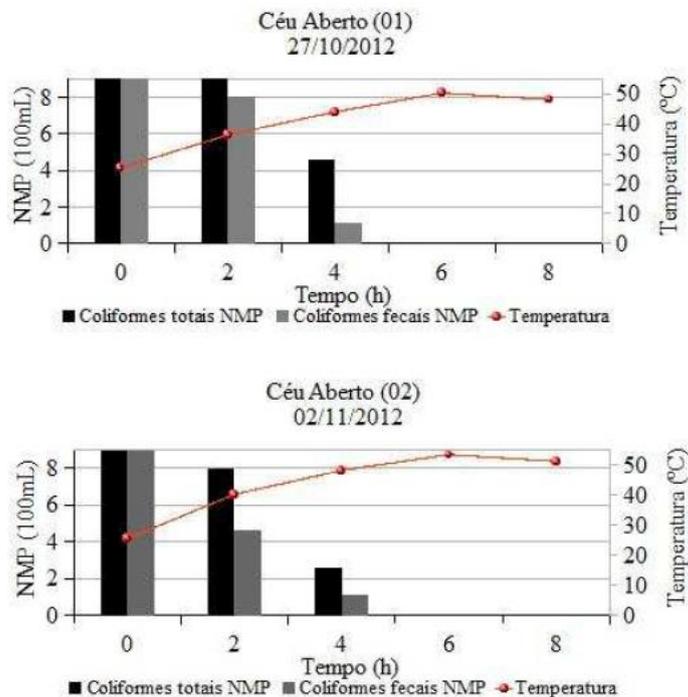


Figura 2 - Ação da técnica SODIS em coliformes presente em água de cisterna.  
 Fonte: Silva *et al.*, (2013).

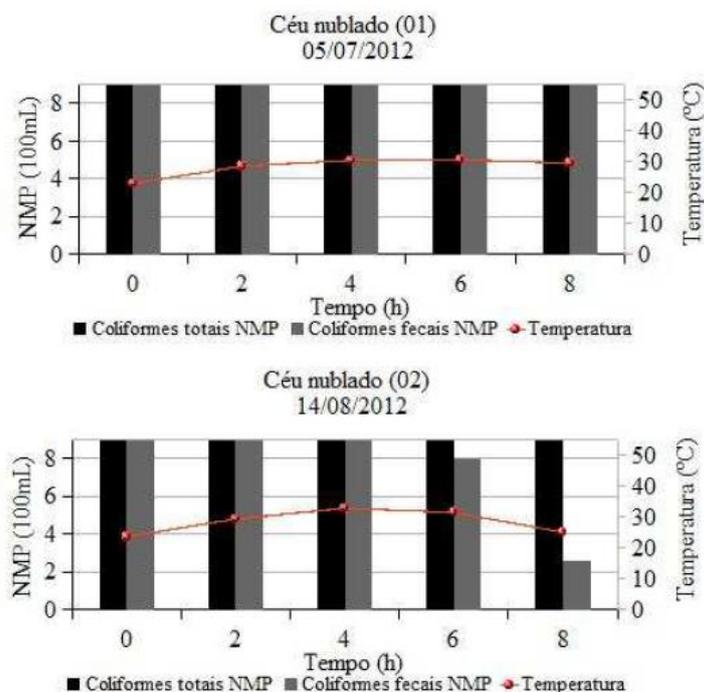


Figura 3 - Ação da técnica SODIS em coliformes presente em água de cisterna.  
 Fonte: Silva *et al.*, (2013).

Comparando os resultados das análises microbiológicas obtidas neste trabalho com os obtidos por Costa *et al.*, (2007) e Silva *et al.*, (2013) verifica-se que a aplicação da técnica utilizando mangueira flexível cristal apresenta resultados semelhantes aos de quando utiliza-se garrafas PET pintadas em sua metade inferior de preto, em dias abertos (Dias de sol).

MONTEIRO *et al.* (s.d.), afirmam que o efeito sinérgico da radiação com temperatura acima de 50°C aumenta significativamente a taxa de inativação de microrganismos. Nesse sentido, Costa *et al.*, (2007) podem não ter obtido resultados mais eficientes pois a temperatura máxima da água chegou a 40°C. A mesma explicação serve para os resultados obtidos por Silva *et al.*, (2013) para os dias com céu nublado (Figura 3). No presente estudo não foi aferida a temperatura da água com o passar das horas, porém, com base nas informações supracitadas pode-se afirmar que a água presente na mangueira apresentou temperatura acima de 50°C.

A eliminação dos Coliformes Totais e Termotolerantes é de suma importância pois são indicadores de eventuais presenças de organismos patogênicos na água, que podem acarretar doenças como febre tifoide, febre paratifoide, desintéria bacilar, amebíase e cólera (KONEMAN *et al.*, 2001), e constitui ainda a causa mais comum de infecção das vias urinárias, sendo responsável por cerca de 90% das primeiras infecções urinárias em mulheres jovens, além de provocar um alto índice de diarreia na população (SILVA, 2004).

Na análise dos Cloretos e da Dureza, verifica-se que mesmo o sistema não apresentando resultados significativos, os dois parâmetros - antes do processo - já estavam dentro dos padrões de portabilidade (Brasil, 2011).

## 5.2 SISTEMA PROPOSTO

Na região de estudo, a grande maioria da população utiliza águas subterrâneas como fonte de abastecimento. Tendo em vista que o protótipo estudado até o momento apresentou um forte indicativo de viabilidade para tratamento de água, funcionando como um tratamento prévio ou até mesmo como uma simples desinfecção para a portabilidade, foi proposto um novo sistema para tratamento de maiores volumes de água (Figura 4).

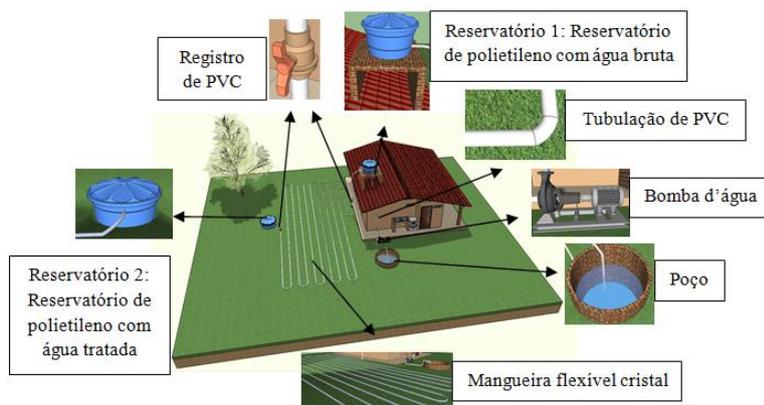


Figura 4 – Sistema proposto.

O sistema formado por dois reservatórios de polietileno, situados em cotas diferentes e conectados por uma mangueira flexível cristal, tem como objetivo expor a água da mangueira à radiação solar. A água a ser tratada será retirada do poço e elevada até o reservatório 1 através da energia fornecida pela bomba. Em seguida, os registros serão abertos

permitindo que a água percorra toda a mangueira por gravidade. Por fim, a água será exposta a radiação solar para o tratamento e logo após, armazenada no reservatório 2.

O sistema proposto possui a seguinte configuração:

Tabela 4 – Configuração do sistema proposto.

Volume de água tratada por dia	500L
Diâmetro da mangueira	1 polegada
Vazão de chegada no reservatório 2	0,1L/s
Comprimento da mangueira	987m
Altura mínima do reservatório 1	3m

No que diz respeito a área que a mangueira ocupara sobre o solo, determinou-se que irão ficar 20m de mangueira a cada 0,15m formando um “zigzague” sobre o solo. Como serão instalados 987m de mangueira, estima-se que a área a ser utilizada terá dimensões 20x7,5m totalizando um valor de 150m<sup>2</sup>.

Para com as dimensões da estrutura da base do reservatório 1 e da superfície do solo a ser cavada para o reservatório 2, tem-se:

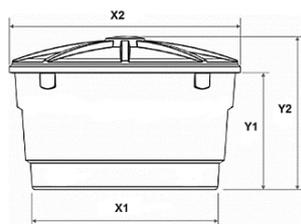


Figura 5 – Ilustração do reservatório e suas dimensões.

Tabela 5 – Dimensões da caixa d’água de 500L conforme os fabricantes da Tigre e da Brasilit.

Fabricantes	X1 (mm)	X2 (mm)	Y1 (mm)	Y2 (mm)
Tigre	978,3	1212	583,6	729,2
Brasilit	880	1200	690	800

Tomando como referência as medidas presentes na Tabela 5 definiu-se que a base do reservatório 1 e a abertura a ser feita no solo para o reservatório 2 terão formatos quadrangular e o comprimento do seu lado será igual ao valor de X2. A profundidade a ser cavada no solo para o reservatório 2 será igual ao valor de Y1. A escolha das medidas depende da caixa d’água a ser utilizada.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o sistema possui forte indicativo de viabilidade para com a região, tendo em vista que foi bastante eficaz na eliminação dos poluentes bacteriológicos, e que, com exceção do pH e da turbidez, todos os parâmetros ficaram dentro dos padrões exigidos pela Portaria MS 2.914/11 (BRASIL, 2011).

Dessa forma, se faz necessário analisar o comportamento dos demais parâmetros exigidos pela portaria supracitada, para que com isso, sejam realizadas as devidas alterações, primeiramente no protótipo e em seguida no sistema. As alterações só serão realizadas após a obtenção de todas as análises, pois visa-se o incremento de técnicas que compatibilizem vários parâmetros e não cada um de forma isolada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em: 22 de abril de 2016.
- BDCLIMA: Banco de Dados Climáticos do Brasil. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 22 de abril de 2016.
- BRASIL. PORTARIA MS nº 2914/2011 – “Normas de Qualidade da Água para Consumo Humano”, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 2011.
- CETESB & ANA: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo & Agência Nacional de Águas. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Brasília, 2011. 325p.
- COSTA, V. H. G.; FERREIRA, J. H. S.; RODRIGUES, A. A. Desinfecção de água doce por radiação solar. 2007, João Pessoa - PB. In: I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica.
- COTTON, C.A.; OWEN, D.M.; CLINE, G.C.; BRODEUR, T.P. UV disinfection costs for inactivating *Cryptosporidium*. J. AWWA, p.82-94, june, 2001.
- DANIEL, L.A.; BRANDÃO, C.C.S.; GUIMARÃES, J.R.; LIBÂNIO, M.; SÉRGIO, J.de L. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro, 2001.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 de abril de 2016.
- KONEMAN, E.W.; ALLEN, S.D.; JANDA, W.M.; SCHRECKENBERGER, P.C.; WINN Jr., W.C. Diagnóstico Microbiológico. 5.ed., Rio de Janeiro: MEDSI, p.1465, 2001.
- MONTEIRO, P. C. G.; BRANDÃO, C. C. S.; SOUZA, M. A. A. (S. d.) Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil. Brasília, Distrito Federal.
- ONU: Organização das Nações Unidas. Declaração Universal dos Direitos da Água. Dia mundial da água. 22 de março de 1992.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Relatório Final. João Pessoa, PB, 2006. 255p.
- SILVA, M. B.; SANTOS, D. B. DOS; SILVA, G. P. DA; BATISTA, R. O.; SILVA, S. C. Tratamento da água armazenada em cisternas utilizando radiação solar. 2013, Goiânia - GO. In: Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer, v.9, N.16; p. 199.
- SODIS: Solar Water Disinfection. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em: 22 de abril de 2016.
- WITT, V.M.; REIFF, F.M. Selección de los sistemas de desinfección desde la perspectiva de los subproductos de la desinfección. In: La Calidad del Agua Potable en America Latina: Ponderación de los Riesgos Microbiológicos contra los Riesgos de los Subproductos de la Desinfección Química, Editado por Craun, G.F. e Castro, R., 153-186. ILSI Press, Washington, EUA, 1996.
- ZAPOROZEC, A.; MILLER, J. C. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org>. Acesso em: 22 de abril de 2016.