



Técnicas modernas para a redução da evaporação em reservatórios de água em regiões semiáridas

Morden techniques for evaporation reduction in water reservoirs in semi-arid regions

Paulo Abrantes de Oliveira¹, Rosires Catão Curi², Valterlin da Silva Santos³ & Georgia Graziela Aragão de Abrantes⁴

Resumo: As mudanças climáticas têm proporcionado um agravamento da gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas. As disputas pelos múltiplos usos da água ocasionam conflitos entre os usuários e as elevadas taxas de evaporação, presentes nessas regiões, contribuem de forma significativa para o agravamento das crises hídricas. A redução das taxas de evaporação em reservatórios em regiões semiáridas pode ocorrer mediante a aplicação de diferentes técnicas. A complexidade do fenômeno associado aos impactos positivos e negativos que a aplicação dessas técnicas pode trazer tornam necessárias às análises das mesmas sob diferentes aspectos, que não sejam meramente o de redução da evaporação. O estudo analisa as diferentes técnicas de redução da evaporação em reservatórios de água, em regiões semiáridas, destacando a eficiência, vantagens e desvantagens de cada técnica estudada. Como método de análise adotou-se o método analítico descritivo, tendo-se como parâmetro os estudos realizados e publicados em periódicos e eventos científicos nacionais e internacionais. A pesquisa descreve de forma minuciosa, toda a evolução das técnicas adotadas em diferentes regiões semiáridas do planeta, que compartilham altos índices de perdas de água por evaporação. Os resultados conclusivos apontam para uma significativa vantagem da adoção de algumas das técnicas estudadas. No entanto, tornam-se necessárias a realização de estudos mais aprofundados, buscando identificar possíveis impactos ambientais.

Palavras-chave: *Redução da evaporação; Reservatório; Semiárido.*

Abstract: The Climate change has led to a worsening of water resources management in semi-arid regions. Disputes over multiple uses of water cause conflicts between users and the high rates of evaporation present in these regions contribute significantly to the worsening of water crises. The reduction of evaporation rates in reservoirs in semi-arid regions can occur through the application of different techniques. The complexity of the phenomenon associated with the positive and negative impacts that the application of these techniques can bring makes it necessary to analyze them under different aspects, other than merely reducing evaporation. The study analyzes the different techniques of evaporation reduction in water reservoirs in semi-arid regions, highlighting the efficiency, advantages and disadvantages of each technique studied. As a method of analysis, the descriptive analytical method was adopted; taking as a parameter the studies carried out and published in national and international scientific journals and events. The research describes in detail the evolution of techniques adopted in different semi-arid regions of the planet, which share high rates of water loss through evaporation. The conclusive results point to a significant advantage of adopting some of the techniques studied. However, it is necessary to carry out more in-depth studies, seeking to identify possible environmental impacts.

Keywords: *Evaporation reduction; Reservoir; Semi-arid.*

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 03/10/2017; aprovado em 30/06/2019

¹ Doutor, Professor, UFCG, barionix01@gmail.com*

² Doutora, Professora, UFCG, rosirescuri@yahoo.com.br

³ Doutor, Professor, UFCG, valterlin@yahoo.com.br

⁴ Doutora, Professora, UFCG, georgiagrazy@gmail.com

INTRODUÇÃO

A água possui importância vital na criação e manutenção das mais variadas espécies de vida, devido aos seus mais variados usos e pode ser considerado um elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, social e ambiental de uma nação.

O Brasil possui 12% das reservas de água doce do mundo. No entanto, devido as suas dimensões continentais, características topográficas e climáticas, a abundância desse recurso está localizada em regiões com baixa densidade populacional e distante dos grandes centros urbanos (Organização dos Estados para a Cooperação e Desenvolvimento - OECD, 2015).

A região semiárida do nordeste do Brasil é caracterizada pela alta densidade populacional, elevada evaporação, alternância de períodos de baixa incidência pluviométrica e períodos de abundante precipitação, originadas de condições climáticas e hidrológicas adversas, potencializada por períodos de estiagem (secas) frequentes e que provocam enormes prejuízos econômicos, sociais e ambientais (Instituto Nacional do Semiárido - INSA, 2012).

Segundo o INSA (2012) a precipitação média anual nessa região é de 750 mm, índice que o eleva a categoria de uma das regiões semiáridas mais chuvosas do planeta. No entanto, em algumas áreas a precipitação média não ultrapassa os 400 mm anuais, somando-se a isso a evapotranspiração potencial média atinge 2.500 mm ano, gerando elevados déficits hídricos e limitando os cultivos agrícolas de sequeiro. Este déficit favorece o aumento da concentração de sais nos corpos hídricos superficiais, degradando a qualidade das águas, por meio da eutrofização e salinização (Gheyi et al., 2012).

Para tentar minimizar esse problema foram construídos, ao longo dos anos, vários reservatórios de pequeno, médio e grande portes. Segundo estudos de Suassuna (2002) estima-se que sejam 70 mil o número de açudes existentes na região semiárida nordestina, caracterizados predominantemente, por capacidade de acumulação entre 10.000 e 200.000 m³. Estes reservatórios representam 80% dos corpos d'água artificiais dessa região, colocando-a entre as maiores acumuladoras de água em reservatórios artificiais do mundo.

Devido às condições climáticas peculiares do semiárido, estudos científicos realizados por Rebouças & Marinho(1976), Molle e Cardier(1992) e Suassuna (2002) estipulam que a evaporação na região Nordeste do Brasil é responsável pela perda de grande volume de água armazenada. Segundo estes autores, a evaporação varia de 1000mm/ano no litoral da Bahia a Recife-PE, elevando-se para 3000 mm/ano na região de Petrolina-PE. Estudos realizados em diversas regiões do semiárido nordestino apontam que cerca de 40% das águas acumuladas em reservatórios perdem-se através do processo evaporativo (Suassuna, 2002).

Diante desses dados percebe-se a relevância de estudos de técnicas que possibilitem minimizar as perdas evaporativas em reservatórios artificiais, de pequeno, médio e grande porte.

REFERENCIAL TEÓRICO

Secas e a Construção de Reservatórios

As estratégias de mitigação de secas, na região nordeste do Brasil, evoluíram em decorrência dos impactos sociais provocados pela seca de 1877-1879. Destaca-se que, ainda na fase do Império do Brasil, predominaram as políticas assistencialista de distribuição de alimentos aos necessitados, criação de frente de emergências de trabalho, importação de camelos do continente africano para o estado do Ceará, adaptação de plantas resistentes à estiagem, ainda nessa fase foi construído o Açude do Cedro no Ceará, considerado a primeira grande obra de combate as secas (Melo, 1999).

Com a proclamação da República, novamente as atenções voltaram-se para a construção de obras que permitissem o “combate à seca”. Assim, neste período foi criado em 1909, o Instituto de Obras Contra as Secas (IOCS), o qual se referia à categoria geográfica Nordeste, como o espaço onde se concentravam as áreas que sofriam com os efeitos das longas estiagens. Dez anos depois, o IOCS tornou-se o Instituto Federal (IFOCs), precursor do atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), criado em 1945 em atividade até os dias atuais (Albuquerque JR, 2009).

Da percepção das diferenças sociais e econômicas existentes entre as várias regiões do Brasil, foi criada em 15 de dezembro de 1959, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste- SUDENE. Neste contexto, considerou-se como uma forma de intervenção do Estado brasileiro na região Nordeste, com o objetivo de promover e coordenar o desenvolvimento da região. Num primeiro momento, a intervenção nesta região deu-se pela construção de grandes obras hídricas (Política de Açudagem), que segundo dados do DNOCS, transformaram a região nordeste do Brasil no maior canteiro de obras da América Latina (Villa, 2000).

Para Rebouças e Marinho, (1976) e Suassuna (2002) a política de construção de açudes fundamenta-se no binômio seca/falta de água, tendo como solução a construção de reservatórios para a acumulação de água em grandes quantidades, o que na literatura científica ficou conhecido como a “solução hidráulica”.

Evaporação

Evaporação ou vaporização é um fenômeno de natureza física pelo qual as moléculas de água, na superfície líquida ou na umidade do solo, adquirem energia superficial (através da radiação solar e outros fatores climáticos) e passam do estado líquido para o de vapor (Collischonn e Tassi, 2011).

A evaporação desempenha um importante papel no ciclo hidrológico da água, na medida em que possibilita a mudança de estado físico da água, retroalimentando um processo cíclico e contribuindo para a limpeza natural da mesma (Paiva e Paiva, 2001). Destaca-se também, a importância desse processo na elaboração de cálculos de balanço hídrico, estimativas de operação de reservatórios de abastecimento e geração de energia elétrica e nas modelagens numéricas da evolução da quantidade de água necessárias à irrigação de culturas agrícolas (Tucci 2004, p. 253).

O processo evaporativo sofre influência de determinados fatores tais como, a temperatura, a pressão atmosférica, a pressão de vapor, a umidade relativa, o vento, a natureza da superfície e a radiação solar, os mesmo podem influenciar de forma isolada ou em conjunto (Paiva e Paiva, 2001).

O fenômeno da evaporação no semiárido tem papel fundamental no dimensionamento e manejo de obras hídricas, que deve ser minuciosamente investigado para subsidiar ações de planejamento e gerenciamento na busca de um melhor aproveitamento das águas reservadas. (Stuart e Campos, 2001).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo caracterizou-se como uma pesquisa bibliográfica, iniciada a princípio com uma investigação de caráter exploratório. Tem como método de abordagem o analítico descritivo, onde por meio da análise e comparação de determinados estudos científicos publicados, em periódicos nacionais e internacionais possibilitou-se uma reflexão e consequente conclusão acerca das técnicas descritas durante o estudo.

Ressalte-se que foram realizadas nesse estudo as seguintes etapas: 1) Seleção dos artigos a serem utilizados como fonte de dados e informações. Optou-se pela escolha de periódicos de renome no meio acadêmico científico, optando-se pelas publicações mais atuais sobre o tema, os quais foram usados para fundamentação do referencial teórico; 2) Elaboração de uma análise minuciosa das técnicas descritas na literatura pesquisada, descrevendo as vantagens e desvantagens das técnicas descritas, conforme o objetivo da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

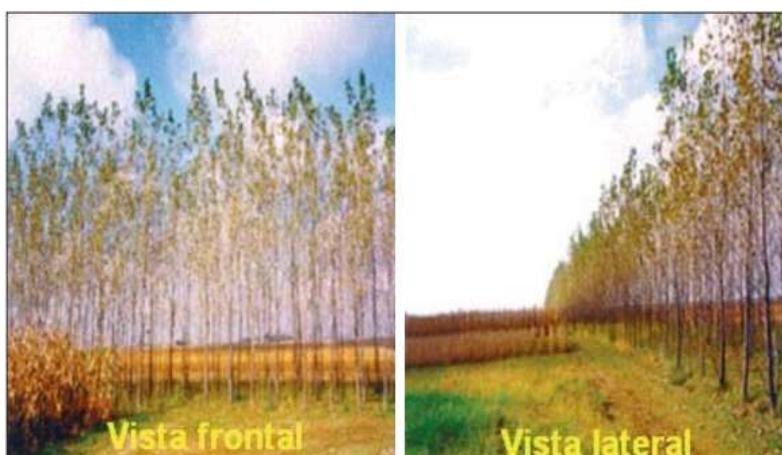
A utilização de técnicas visando reduzir a evaporação em lagos não é algo novo, a literatura científica está permeada de descrições de uma gama de experimentos buscando atingir este propósito. Silans (2003) descreve a utilização de uma série de técnicas em diferentes partes do mundo, tendo como objetivo o estudo da redução da evaporação em reservatórios de água. Assim, Estes experimentos utilizavam: quebra-ventos; corpos artificiais flutuantes à superfície; plantas aquáticas de folhas flutuantes na

superfície; painéis de energia fotovoltaica flutuantes; filmes monomoleculares de álcoois gordurosos e armazenamento subterrâneo.

Os mecanismos acima citados diferem, na forma, como interferem na dinâmica da evaporação. Ademais, deve-se destacar que alguns reduzem a velocidade do vento, outros refletem a energia solar incidente, os últimos provocam o aumento da tensão superficial, modificando a interação entre a água e a atmosfera e por conseguinte, reduzindo as trocas de energia entre a superfície da água e a atmosfera.

A primeira técnica a ser analisada constitui-se de uma barreira física colocada no entorno do corpo hídrico, como forma de minimizar a ação do vento no processo evaporativo, comumente denominada de “quebra ventos” (Figura 1), podendo ser usadas árvores de grande porte, plantadas em volta do reservatório.

FIGURA 1: Eucalipto utilizado como quebra vento.



FONTE: Schoffel (2009).

Segundo Schoffe l(2009) e Helfer et al.(2011) esta técnica possui vantagens e desvantagens. As vantagens destacam-se pela boa eficiência (35%) na redução da evaporação e baixa manutenção. No entanto, as desvantagens surgem no alto custo de implantação e na escolha das espécies vegetais adaptadas às condições locais. A eficiência de um quebra-vento na redução da velocidade do vento depende principalmente da sua permeabilidade, da altura e da sua orientação em relação ao vento. O Quadro 1 apresenta algumas espécies que podem ser usadas na região semiárida.

QUADRO 1: Espécies que podem ser usadas como quebra vento.

Espécie	Porte da Planta	Características
Acácia (Acaciasp)	Alto	Regiões semiáridas

Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> spp)	Alto	Regiões semiáridas
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Alto	Regiões semiáridas
Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>)	Médio	Regiões semiáridas

FONTE: Adaptado de Leal (2009); Nicodemo (2009); Oliveira (2009); Schoffel (2009); Conceição (1996).

A segunda técnica utilizada como redutor evaporativo em lagos ou reservatórios de água é a inserção de corpos artificiais flutuantes, na superfície da água do reservatório, com o intuito de reduzir a incidência do vento e dos raios solares, refletindo-os de volta para a atmosfera (Marinho et al., 2015). Os materiais mais utilizados são: placas de isopor, bolas de polietileno, hexágonos de plástico, telas de nylon, painéis de energia solar flutuantes.

A utilização de bolas de polietileno (Figura 2) foi testada no Estado Americano da Califórnia, tendo sido muito divulgada pela mídia como alternativa para a crise hídrica que assola aquele Estado. A adoção desse método também possui vantagens e desvantagens. As vantagens aparecem na sua alta eficiência aproximadamente (95%). No entanto, a sua utilização requer um alto custo na aquisição e manutenção dos corpos artificiais que flutuam na superfície do lago (Marinho et al., 2015).

FIGURA 2: Bolas flutuantes utilizadas como redutor de evaporação na Califórnia-EUA.



FONTE: Gene Blevins/Rex Shuterstock (2015).

A implantação de usinas de geração de energia solar flutuantes, nos espelhos d'água dos reservatórios (Figura 3) surge como uma inovação tecnológica de dupla vantagem, na medida em que seus painéis solares reduzem a evaporação da água nos lagos. Essas mesmas estruturas convertem a energia fotovoltaica em energia elétrica, sendo considerada uma fonte alternativa não poluente.

FIGURA 3: Painéis solares utilizados como redutores de evaporação e geradores de eletricidade.



FONTE: MTEC / Divulgação (2017).

A terceira técnica a ser analisada constitui no emprego de plantas aquáticas de folhas flutuantes, na superfície do reservatório (Figura 4) com o intuito de reduzir a influência do vento e da radiação solar no processo evaporativo.

As espécies mais utilizadas são: *Nymphaea alba*, *Nymphoides indica* e *Jussiaea* (*Ludwigia Natanssp*). Estas espécies apresentam características positivas para a redução da evaporação, pois flutuam na superfície sem aumentar a superfície evaporativa, são brilhosas, que é condição essencial para a reflexão de parte da radiação solar e a superfície das folhas é repelente de água e inibe a deposição de poeira (Silans, 2003). As vantagens na sua utilização estão no seu baixo custo, pois tratam-se de espécies bem conhecidas e resistentes nas mais variadas condições de clima. As desvantagens ocasionadas pela sua utilização dizem respeito à sua baixa eficiência (18%) e a alteração das características da água (Marinho et al., 2015; Silans, 2003).

FIGURA 4: Plantas aquáticas de folhas flutuantes.



FONTE: Cris Martins (2016).

A quarta técnica analisada são os filmes monomoleculares de álcoois gordurosos (Figura 5), que atuam aumentando a tensão superficial da água, reduzindo a difusão molecular e reduzindo a evaporação.

FIGURA 5: Filmes monomoleculares utilizados em reservatório de água.



FONTE: Crainet et al. (2007).

As experiências realizadas em várias partes do mundo têm mostrado que um composto químico chamado de álcool cetílicohexadecanal ou derivados de sebo, óleo de coco ou óleo de palma é capaz de formar uma película monomolecular sobre a superfície da água. Este material é relativamente insípido, inodoro, permite a passagem do oxigênio e do dióxido de carbono, não apresentando toxicidade para os seres vivos.

Este composto apresenta uma peculiaridade devido à dupla polaridade de sua molécula, em uma extremidade a molécula é hidrofílica e, por conseguinte, apresenta uma grande afinidade de atração com a água, enquanto que a outra extremidade é hidrofóbica e possui repulsão com as moléculas de água (Saggai, 2011).As principais vantagens dessa técnica são: boa eficiência(43%), pois os compostos químicos empregados no filme são biodegradáveis. As desvantagens encontram-se na necessidade de reaplicação das substâncias químicas em decorrência da interação desses compostos com a poeira carregada pelo vento e o aumento da temperatura da água. Segundo Silans (2003), a substância mais usada tem sido o álcool cetílico (hexadecanol).

O Quadro 2 apresenta o comparativo entre diferentes técnicas de redução de evaporação em reservatórios de água, para a sua elaboração foram levadas em consideração variáveis econômicas, ambientais, destacando-se o seu percentual de eficiência.

QUADRO 2: Relação entre as diferentes técnicas de redução de evaporação e variáveis econômicas, ambientais e eficiência.

Técnica	Eficiência	Custo Implantação	Custo de manutenção	Impacto no corpo hídrico	Porte do reservatório
Quebra vento	35%	Médio	Baixo	Baixo	Pequeno a grande
Corpos Flutuantes					
Bolas Plásticas	95%	Alto	Alto	Baixo	Pequeno a grande
Placas solares	70%	Alto	Baixo	Baixo	Pequeno
Placas de isopor	45%	Médio	Baixo	Baixo	Pequeno
Hexágonos	80%	Alto	Baixo	Baixo	Pequeno
Telas de nylon	30%	Alto	Alto	Baixo	Pequeno
Plantas aquáticas	18%	Baixo	Baixo	Médio a Alto	Pequeno
Filmes monomoleculares	43%	Alto	Alto	Médio a Alto	Pequeno

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

CONCLUSÕES

A análise das diferentes técnicas de redução de evaporação em reservatórios de água em regiões semiáridas possibilita concluir que esses métodos podem ser empregados como mais uma ferramenta no auxílio da gestão dos recursos hídricos, em bacias hidrográficas em regiões semiáridas. As análises realizadas possibilitam elencar vantagens e desvantagens, bem como nuances e peculiaridades intrínsecas a cada uma das técnicas descritas e estudadas.

Outra ponto importante no trabalho diz respeito à falta de conhecimento de grande parte da população de tais técnicas, fazendo-se necessário uma maior divulgação, exemplificando alguns países como a Austrália, que utilizam esses mecanismos de redução de evaporação a quase um século, obtendo resultados significativos.

Por fim, constata-se que as aplicações de algumas dessas técnicas ou a utilização em conjunto possibilitam maximizar a oferta de água no futuro de forma mais sustentável, eficaz e eficiente e ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] ALBUQUERQUE JR., D. M. A invenção do Nordeste e outras artes. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2009 [1994].

- [2] COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. IPH/UFRGS, 2011. Disponível em: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/cap%201%20-20Introdu%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.
- [3] CRAIG, IAN; ARAVINTHAN, VASANTHA; BAILLIE, TURNBULL, DAVID. (2007). Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: A review of research methods. Environmental Health.
- [4] GENE BLEVINS/REX SHUTLERSTOCK (2015). Disponível em:<<http://news.nationalgeographic.com/2015/08/150812-shade-balls-los-angeles-Californiadrought-water-environment>. >Acesso: 15 jul. 2017.
- [5] GHEYI, Hans Raj.; MEDEIROS, Salomão de S.; GALVÃO, Carlos de O.; . Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande-PB. Instituto Nacional do Semiárido. 2012.
- [6] HELFER, F.; LEMCKERT, C.; ZHANG, H. Investigating Techniques to Reduce Evaporation from Small Reservoirs in Australia. EngineersAustralia, n. July, p. 1747–1754, 2011.
- [7] INSA, Instituto Nacional do Semiárido. Recursos Hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações. ed, Hans Raj Gheyi, Vital Pedro da Silva Paz, Salomão de Sousa Medeiros, Carlos de Oliveira Galvão - Campina Grande, PB: INSA, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.
- [8] MARINHO, F. J. L.; AGUIAR, R.L.; UCHOA, R.T.; LEITE, S. L.; NASCIMENTO, A. F. Mecanismo redutor de evapotranspiração em manancial hídrico localizado no semiárido Paraibano. 2015.
- [9] MARTINS, C.; Imagem plantas aquáticas, 2016. <Disponível em<http://portaltanacidade.com/meio-ambiente/duke-energy-baixa-reservatorio-para-controlar-plantas-aquaticas.html>>.
- [10] MELO, J. C.; O fenômeno EL Niño e as secas no Nordeste de brasil. Raízes, ano XVIII, nº 20, novembro/99, pp.13-21. Disponível em:< [http:// www.ufcg.edu.br/~raizes/artigos/Artigo_23.pdf](http://www.ufcg.edu.br/~raizes/artigos/Artigo_23.pdf)>Acesso em: 05 nov. 2016.

- [11] MOLLE, F. & CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife, SUDENE-ORSTOM, 521 p., 1992. MTEC / Divulgação, 2017. Disponível em:<http://www.canalbioenergia.com.br/primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil-fica-em-propriedade-rural-em-goias/>>. Acesso: 13 jul. 2017.
- [12] OECD. Governança dos Recursos Hídricos no Brasil. 2015.
- [13] PAIVA, J.B.D.de.; PAIVA, E.M.C.D. Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 pp.
- [14] REBOUÇAS, A. da C. & MARINHO, M.E. (1972). Hidrologia das secas: Nordeste do Brasil. Recife, Sudene, 1976,p. 126.
- [15] SAGGAI S. 2011 -Estudo da influência de filmes monomoleculares na redução da evaporação superficial da água . Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. Ed. Agência Nacional para o Desenvolvimento da Pesquisa Universitária; 8 (2): 25-32.
- [16] SCHOFFEL, E. R. Importância agroecológica dos ventos: quebra-ventos. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009. Notas de Aula. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/fitotecnia/graduacao/agromet/vento2.pdf>>. Acesso: em 10 jul. 2017.
- [16] SILANS, A.M.B.; Redução de evaporação de açudes-oestado da arte. RBRH. V.8, n,2,abr/jun 2003.
- [17] STUART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B. Gestão da Demanda. Gestão de Águas: Princípios e Práticas, p. 242p. 2001.
- [18] SUASSUNA, J. A pequena e média açudagem no semiárido nordestino: uso da água na produção de alimentos. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html> > Acesso em 08 set. 2016 . TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 253 p.
- [19] VILLA, Marco Antônio. Vida e morte no sertão: história das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX. São Paulo: Ática,2000.