

MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE NAVEGAÇÃO E OPERAÇÃO PORTUÁRIA NO LAGO TANGANICA

Pedro Figueira, Consultor, Especialista em Hidráulica do Banco Mundial

Aleix Serrat-Capdevila, Especialista em Gestão de Recursos Hídricos do quadro do Banco Mundial.

Reynald Bench, Consultor, Especialista em Transportes Marítimos do Banco Mundial

Resumo

As condições de navegação e operação nos portos do Lago Tanganica são afectadas pela variação sazonal e interanual do nível da sua superfície. O Banco Mundial foi solicitado para dar assistência ao projecto de construção de uma barragem no Rio Lukuga, única saída de água do lago, para além da evaporação. O objectivo dessa obra é fixar um nível mínimo da superfície do lago, de forma a manter condições de navegação e operação portuária. Para avaliar essa solução o BM realizou uma missão que integrou os autores desta comunicação. Contactaram-se entidades relacionadas com a gestão e utilização do lago, e visitaram-se alguns dos principais portos. Recolheram-se e analisaram-se elementos para o estudo do balanço hídrico do lago, factor determinante do seu nível. Avaliaram-se as condições actuais dos portos, bem como a dinâmica sedimentar e a sua influência na operação portuária. Consideraram-se diversas hipóteses de intervenção, incluindo a construção da referida barragem no Rio Lukuga. Da análise dos elementos recolhidos, foi possível concluir sobre a viabilidade e os benefícios de diversos tipos de intervenção no âmbito das infraestruturas portuárias e no controlo dos níveis do Lago.

1 Introdução

O Lago Tanganica ocupa uma área de 32.900 km² no Sudeste Africano e tem uma importância fundamental na actividades dos 4 países que o rodeiam. O lago constitui uma plataforma de transporte de carga e de passageiros muitas vezes única, entre as povoações e os próprios países. Os quatro países que possuem território no Lago Tanganica (Tanzânia - 46%, República Democrática do Congo - 40%, Burundi – 7% e Zâmbia – 7%) estão associados na gestão dos recursos do Lago através da Convenção para a Gestão Sustentável do Lago Tanganica, administrada pela LTA (Lake Tanganyika Authority), com sede em Bujumbura, capital do Burundi.

As condições de navegação e de operação nos portos do Lago são um aspecto crítico para as comunidades da região. Essas condições são afectadas pela variação sazonal e interanual do nível da superfície do Lago. Por outro lado, o desenvolvimento de corredores de transporte Norte-Sul e Este-Oeste, previstos pela comunidade africana, considera o Lago Tanganica como parte integrante dessas infraestruturas. Tendo em vista o controlo dos níveis do lago, para manter as condições de operação nos portos, criou-se a ideia de construir uma barragem no Rio Lukuga, única saída de água do lago, para além da evaporação.

A Tanzânia e a R.D. do Congo solicitaram a assistência do Banco Mundial para a construção da referida barragem, tendo este procedido à avaliação dessa solução através de uma missão realizada em Outubro de 2016 por uma equipa que integrou os autores desta comunicação. Nessa missão, para além da LTA, contactaram-se várias entidades relacionadas com a gestão e utilização do lago, tendo-se visitado os principais portos e feito uma avaliação do estado do sistema lacustre de transportes relativamente à sua capacidade actual e potencial. Recolheram-se elementos para o estudo do balanço hídrico do lago, factor determinante do seu nível. Avaliaram-se as condições actuais das infraestruturas portuárias, bem como a dinâmica sedimentar e a sua influência na operação portuária. Avaliaram-se diversas hipóteses de intervenção no lago, incluindo naturalmente a construção da barragem no Rio Lukuga.

2 Geografia

- Comprimento 670 km
- Largura média 48 km
- Superfície 32.000 km²
- Volume 17.800 km³
- Profund. máx. 1.470 m
- Profund. média 572 m
- Comp. margem 1.900 km
- Bacia hidrogr. 263.000 km²

A margem apresenta principalmente formações rochosas (43%). 21% da margem são formações rochosas e arei

2.1 Economia do Lago Tanganica

Além de actividades de turismo sazonal, é comum o fabrico de produtos destinados ao mercado local, (têxteis, couro, cerveja e alimentos). Com importância para a economia regional existe ainda a indústria do cimento, e a extracção de estanho, cobre e carvão. A pesca é uma das principais actividades económicas do Lago.

LAKE TANGANYIKA BASIN

— Drainage Basin Boundary
 - - - International Boundary
 — River
 Lake
 • Selected City

0 100 km

N

RWANDA
 • Kigali

BURUNDI
 • Bujumbura
 • Uvira

D.R. OF CONGO

TANZANIA
 • Kasulu
 • Kigoma
 • Mpanda
 • Urambo
 • Tabora
 • Sumbawanga
 • Mbulungu

Lake Tanganyika

Lake Malawi

ZAMBIA

MALAWI

Boundaries and locations are approximate and should not be considered authoritative.

ILRIC/6.135/29.606/061305

3 Navegação no Lago Tanganica

3.1 Introdução

No que respeita ao comércio e transporte, o Lago Tanganica integra importantes corredores de transporte para as populações e para as mercadorias, comercializados através de soluções de transporte multimodal. No quadro do estudo, a exploração do lago incluiu a caracterização da sua navegabilidade, bem como os aspectos relacionados com a segurança e a eficiência. Integrando o objectivo da missão (estabelecimento das bases para a avaliação do projecto de construção de uma barragem no rio Lukuga e respectivos impactes), estudaram-se aspectos relevantes do transporte, do acesso aos portos e das instalações portuárias.

3.2 Navegação

O Lago Tanganica tem um nível de água variável ao longo do ano em função das condições climáticas. Os níveis de água mais elevados ocorrem no final da estação chuvosa (Outubro a Maio), estando normalmente entre 0,8 e 1,0 m acima dos níveis mais baixos, atingidos no final da estação seca (Junho a Setembro). Os principais portos da margem oriental do Lago Tanganica são Kigoma na Tanzânia e Bujumbura no Burundi. Na margem ocidental estão situados os portos da República Democrática do Congo: Kalemie, Uvira e Moba. No extremo sul do lago situa-se o porto de Mpulungu na Zâmbia.

Além dos portos principais atrás indicados, existem algumas dezenas de estruturas portuárias de pequena dimensão, que servem as povoações da margem do lago, salientando-se que as profundidades existentes obrigam os navios com algum porte a ficar a distâncias de 300 a 500m da margem. Nestes casos, a carga e descarga de mercadorias e o trânsito de passageiros são feitas por meio de pequenas embarcações.

O maior navio que opera no lago é o Teza, com capacidade de 1.500 toneladas e 60 TEU. Este navio é o principal meio de transporte de contentores entre todos os principais portos do Lago. O navio Liemba, oferece o único serviço regular de passageiros e carga geral.

As ajudas à navegação: cartas de navegação; sinalização; e cobertura de rádio, praticamente não existem no Lago Tanganica.

3.3 Portos

3.3.1 Introdução

O objetivo geral da avaliação da situação do estado actual dos portos mais importantes do lago, Kigoma, Mpulungu, Bujumbura, Kalemie e Uvira, concentra-se nas condições de aproximação e acostagem dos navios.

No estudo identificou-se o desenvolvimento do transporte no Lago, em conjunto com os critérios de projeto para as infraestruturas portuárias e para as embarcações. Analisou-se a compatibilidade entre as condições nos portos, as características dos navios e as condições ambientais circundantes.

Considerando a história da navegação no Lago Tanganica, muito provavelmente as principais dimensões do navio Liemba que opera no lago desde 1917, tornaram-se uma referência para dimensionamento dos portos de todo o lago. Com base nesta suposição, a profundidade de referência dos portos servidos pelo Liemba, foi definida a partir do seu calado máximo de 4,2 m.

3.3.2 Porto de Kigoma (Tanzania)

Kigoma é um dos portos mais movimentados do Lago Tanganica, por ser o único com ligação ferroviária em funcionamento, com ligação directa ao porto de Dar es Salaam. Kigoma é a rota tradicional para as importações e exportações de e para a RD Congo e para o Burundi.

O Porto de Kigoma tem um cais principal de 300 m para calados de 4 m, um parque de contentores de 3.745 metros quadrados e uma zona de carga geral de 10.000 m². A capacidade indicada para passageiros é da ordem de 300.000 pessoas por ano. Existem ligações de baixa eficiência a Dar es Salaam, por estrada e por caminho de ferro.

Devido à sua localização, o Porto de Kigoma é adequado para as exportações da Tanzânia e para o transbordo das exportações para países sem fronteiras marítimas (Burundi, e, indirectamente, Ruanda), bem como para a RD do Congo. O Plano Director de Portos da Tanzânia, para os anos 2008-2028 identifica a necessidade de expansão dos cais para 1.130 m, e do aumento da área terrestre para 40 ha até ao ano de 2018.

Para além de Kigoma, na margem Tanzaniana do lago existem cerca de 20 portos secundários, que não possuem instalações de acostagem. São servidos principalmente pelo navio Liemba.

3.3.3 Portos de Kalemie e Uvira (DRC)

O porto de Kalemie situa-se na margem Oeste do Lago junto à saída do Rio Lukuga. O porto foi dragado há alguns anos, a profundidades até 4 m e o seu acesso é assegurado através de um canal de 400m de comprimento e 20m de largura. Não se realizam dragagens de manutenção regulares, pelo que actualmente os seus acessos e cais se encontram muito assoreados. O porto de Uvira está localizado perto da fronteira entre a RDC e o Burundi a uma distância curta de Bujumbura. Tem problemas semelhantes aos de Kalemie.

Além do projeto da barragem no rio Lukuga, apenas se prevê a realização de dragagens de manutenção em Uvira e Kalemie.

3.3.4 Porto de Bujumbura (Burundi)

O porto de Bujumbura é o porto principal do Burundi e um dos principais do Lago Tanganica. É uma infraestrutura essencial para a economia do país. Aceita calados até 4m, e tem necessidade de dragagens frequentes. O Plano Director do Porto prevê um aumento significativo das instalações de acostagem. A profundidade de projecto permanece nos 4,0 metros.

3.3.5 Porto de Mpulungu (Zambia)

O porto de Mpulungu tem um cais de acostagem de 140 metros. As profundidades no porto estão entre 3,5 e 7,0 m. As instalações de acostagem de Mpulungu foram ampliadas recentemente em 120m, não se conhecendo novos planos para o futuro próximo.

3.4 Principais problemas dos portos

Existe uma forte preocupação dos países do Lago, principalmente da Tanzânia e da RD Congo, relativamente ao facto de os navios estarem condicionados durante a navegação e o acesso aos portos. Os principais condicionamentos resultam da incompatibilidade entre o calado dos maiores navios e as profundidades disponíveis nos portos. Desde a entrada ao serviço do navio Liemba em 1917, a construção naval no Lago Tanganica foi aparentemente influenciada pelas principais dimensões deste navio, particularmente pelo seu calado máximo de 4,20 metros. Os principais portos estão aparentemente dimensionados para calados de 4,0m, considerando os níveis de água mínimos normalmente atingidos no lago. No entanto a não realização de dragagens de manutenção, bem como as irregularidades dos fundos ao longo dos cais, causadas pelas correntes geradas pelas hélices dos navios, geram situações de impossibilidade de operação para navios com carga correspondente ao calado máximo. Por outro lado, os pequenos portos existentes ao longo da margem raramente têm estruturas de acostagem, e as profundidades que neles ocorrem não permitem, em situações normais, a aproximação dos navios. Também a ausência de ajudas à navegação constitui limitação importante à navegação e à operação portuária.

Mesmo tendo em consideração as limitações apontadas, o funcionamento actual dos portos pode ser caracterizado de forma sumária, do seguinte modo:

Apesar dos condicionamentos de capacidade operacional dos portos do Lago Tanganica, o volume de carga transportado está longe de esgotar a capacidade actual. Existem soluções capazes de manter ou aumentar o trânsito de mercadorias e pessoas, como sejam a utilização de navios com volumes de carga inferiores aos correspondentes ao seu calado máximo, ou o aprofundamento dos canais e das bacias portuárias, ou ainda, o aumento da frequência das dragagens de manutenção. Não existem elementos suficientes para realizar uma avaliação quantitativa desta situação.

4 Factores naturais que influenciam a capacidade portuária

4.1 Dinâmica Sedimentar

Um dos problemas com que os portos do Lago Tanganica têm que lidar é a sedimentação nos seus acessos e bacias.

Parte dos sedimentos que chegam às áreas portuárias são transportados ao longo das margens pelas correntes litorais geradas pelas ondas. Quando esses sedimentos atingem áreas onde as correntes diminuem significativamente, depositam-se, criando zonas de acumulação. É o caso das entradas nos portos, onde podem aparecer bancos de sedimentos, ou de mudanças súbitas de direcção da margem, onde podem surgir restingas de areia. Uma solução clássica da engenharia costeira para combater essas situações, é a construção de esporões, (ver figura). Essas estruturas retêm os sedimentos, ou desviam-nos nos casos sedimentos muito finos em suspensão na água. Os portos de Kalemie e de Uvira, são exemplos de problemas de sedimentação nas bacias portuárias e nos seus acessos, e poderão ser melhorados por alguma intervenção costeira deste tipo.



Outra questão importante é o afluxo sedimentar proveniente de terra através de linhas de água, principalmente nos casos de regime torrencial, associado a uma grande capacidade de transporte de sedimentos. Este é o caso das linhas de água existentes a sul dos portos de Kalemie e Uvira. A situação pode ser agravada pela desmatamento das áreas adjacentes a essas linhas de água. Algumas medidas podem ser tomadas em terra para melhorar essa situação, como sejam a construção de degraus e obstáculos transversais ao escoamento. No entanto, a manutenção da situação da floresta existente e o cultivo nas margens das linha de água são factores que poderão contribuir significativamente para minimizar o problema.

4.1.1 Características dos sedimentos

Não foi possível colher dados quantitativos e qualitativos suficientes para representar as características e a distribuição de sedimentos que ocorrem no lago, ou os volumes de sedimentos que a ele afluem. Naturalmente, esses dados variam ao longo da margem.

Segundo Timo Huttula (Ed.) (Flux, Thermal Regime and Studies of Sediment Transport in Lake Tanganyika, 1997), a distribuição da dimensão dos sedimentos superficiais perto da foz dos rios Malagasari, Kalambo e Lufubu, para amostras colhidas em profundidades entre 20 m e 60 m, situa-se entre (i) 2 e 28 micron para d10, (ii) 13 e 85 micron para d50 e (iii) 45 e 140 micron para d90. Estes valores confirmam a hipótese esperada de que os sedimentos maiores provenientes da bacia hidrográfica permanecem na borda do lago (pequenas profundidades) onde as correntes geradas pela rebentação das ondas têm capacidade para os mobilizar e transportar.

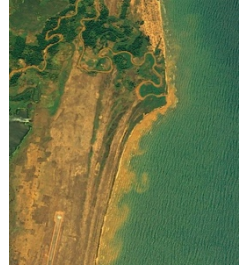
4.1.2 Fontes sedimentares

Naturalmente, as principais fontes de sedimentos que afluem ao Lago Tanganica são as linhas de água provenientes da sua bacia hidrográfica. Na figura seguinte apresentam-se imagens retiradas do Google Earth, que mostram algumas dessas linhas de água que desagüam na margem lacustre do Burundi, transportando areias ou silts.



Fontes sedimentares na costa do Burundi

Uma pequena parte dos sedimentos integrados no processo de dinâmica sedimentar litoral, provém da erosão provocada pela rebentação das ondas na margem do lago, conforme se pode observar na imagem de um troço entre Kalemie e Uvira na margem Congoleza (ver figura junta).



4.1.3 Sedimentos em áreas portuárias

Naturalmente, o regime sedimentar varia de acordo com as características locais e depende de:

- tipo de sedimentos;
- proximidade de fontes sedimentares;
- características locais dos factores forçadores da dinâmica sedimentar;

Os portos estão, normalmente, associados a áreas construídas, com alto potencial de erosão devido à fraca cobertura vegetal do solo causada pelo desflorestamento e desmatação, ou pelo uso da terra para o cultivo. Além disso, a concentração do escoamento nas linhas de água contribui para aumentar o potencial de erosão. As condições são diferentes para cada um dos 5 portos que interessam ao estudo e também para os pequenos portos.

4.2 Factores que afectam a dinâmica sedimentar no Lago

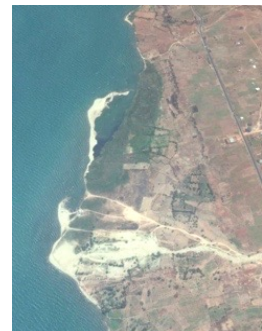
4.2.1 Ondas de vento

Um ponto importante, quase ausente na literatura sobre o lago Tanganica, diz respeito às ondas geradas pelo vento, que, no entanto, desempenham um papel importante na dinâmica sedimentar. De acordo com informações do capitão do navio Liemba, as características do clima de agitação no Lago Tanganica são as seguintes:

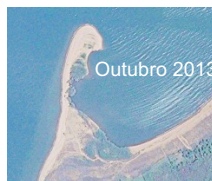
- As ondas têm uma altura limitada e relativamente pequena bem como um período curto. Isto era, naturalmente, esperado, em consequência de o fetch ser limitado e de a intensidade dos ventos ser geralmente pequena.
- Em determinadas circunstâncias, as ondas afectam a navegação, devido ao seu curto comprimento, forçando a redução da velocidade dos navios.
- De uma abordagem muito limitada do clima de agitação pode concluir-se que:
 - Durante os meses de Junho, Julho e Agosto ocorrem ondas até 1,5 m de Sudoeste;
 - Durante Setembro e Outubro ocorrem ondas até 1 m de Norte;
 - Em Novembro ocorrem ondas até 0,5 m de Oeste;
 - O período de onda máximo é da ordem de 4 s.

4.2.2 Transporte sedimentar litoral

A dinâmica sedimentar dependente das correntes litorais geradas pela rebentação das ondas. No Lago Tanganica, a zona de rebentação é estreita, uma vez que a altura e o comprimento das ondas são pequenos, pelo que a dinâmica é pouco intensa. No entanto, a sua persistência gera efeitos visíveis. Na figura junta pode ver-se uma formação sedimentar constituída com a areia transportada por correntes geradas por acção da onda de SW (a orientação da costa é Norte-Sul). O local é Kabezi, 15 km a sul do porto de Bujumbura.



É possível identificar nas margens do lago algumas formações típicas da dinâmica sedimentar associada às ondas. Na figura abaixo, pode verificar-se a evolução em 10 anos de uma restinga, 22km a Sul de Bujumbura. Embora o crescimento seja lento (150m em 10 anos), mostra que a persistência da acção das ondas é suficiente para impulsionar a evolução de formações sedimentares.



4.2.3 Correntes de vento

Outro factor com algum significado na dinâmica sedimentar são as correntes geradas pelo vento. Essas correntes são, em geral, fracas e superficiais, mas têm a capacidade de transportar os sedimentos finos que estão em suspensão na água. A persistência do fenómeno pode induzir mudanças morfológicas no fundo e nas margens do lago.

4.3 Sedimentação nos portos

Foi feita uma análise qualitativa sumária da atividade sedimentar nos portos principais do Lago, tendo em vista obter uma caracterização preliminar da mesma. Essa análise foi feita principalmente usando as imagens do Google Earth para diferentes datas e integrando nessa análise os resultados das reuniões realizadas com utilizadores portuários. Os problemas sedimentares nos portos e em torno deles mostraram semelhanças naturais com os que ocorrem nos portos costeiros marítimos. Não foi possível obter informações sobre o porto de Mpulungu na Zâmbia.

4.3.1 Porto de Bujumbura

O Porto de Bujumbura é muito afetado pela sedimentação, como se verificou durante a visita ao local e era esperado, a partir dos resultados de uma análise das imagens do Google Earth. A área adjacente por Norte ao porto de Bujumbura, mostra uma forte evolução entre 2002 e 2016, com um aumento de território de mais de 30 hectares, a maioria dos quais formados com sedimentos transportados pelo rio Ntakangwa (ver figura abaixo).



June 2002



June 2005



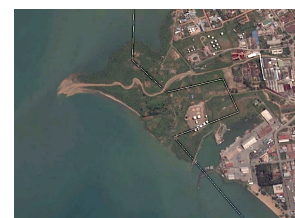
August 2008



June 2010



December 2011



2016

Evolução da zona adjacente ao Porto de Bujumbura

Na bacia portuária existe uma saída do sistema de drenagem pluvial da cidade. Os sedimentos transportados depositam-se nessa bacia. No exterior, próximo do porto, foi possível detectar visualmente sedimentos em suspensão. Esses sedimentos são originários das descargas de rios (principalmente o Russizi e o Ntakangwa), mas também da erosão das margens por acção das ondas. O vento, soprando de Oeste, gera correntes de superfície que entram para o interior do porto transportando sedimentos que aí se depositam. Na área a norte do porto já referida, existem sedimentos arenosos. Em certas condições, areia de granulometria fina poderá ser transportada para a zona adjacente à entrada do porto, contribuindo para a subida dos fundos nessa área.

Um factor a ser considerado, que afecta a distribuição de sedimentos no fundo da bacia, é o efeito das correntes geradas pelas hélices do navio. A distribuição de sedimentos ao longo do fundo do cais pode afectar as condições de acostagem, quando ocorrem pontualmente níveis acima da quilha do navio. As informações das autoridades portuárias de Bujumbura e do capitão do navio Liemba referem uma forte influência da sedimentação na operação portuária.

4.3.2 Porto de Kigoma

O porto de Kigoma localiza-se na margem Tanzaniana do Lago Tanganica. A partir da informação colhida localmente, a principal fonte dos sedimentos descarregados diretamente na bacia portuária são os solos de uma área de cerca de 100 hectares que não está protegida contra a erosão do escoamento superficial. Uma análise mais detalhada através das imagens do Google Earth



Figura 4.3.2.1 Porto de Kigoma in

toda a Baía de Kigoma é muito superior a esse valor, na ordem de 1000 hectares. A erosão de toda essa área pode dar origem a algumas subidas inconvenientes do fundo, especialmente se os sedimentos tiverem áreas de deposição preferenciais. Faltam elementos de avaliação que permitam estudos quantitativos, nomeadamente levantamentos batimétricos e de granulometria dos sedimentos, bem como estatísticas de dragagens.

4.3.3 Porto de Kalemie

O Porto de Kalemie está localizado na margem da RD Congo, perto do Rio Lukuga, a única saída do lago Tanganica. As seguintes informações foram colhidas durante a missão:

- As profundidades da água ao longo da proximidade do quebra-mar do porto são pequenas. (Informação do Capitão do navio Liemba);
- As aproximações a Kalemie e a entrada do porto estão sujeitas a forte sedimentação, que afecta a operação portuária. (Informação de dois marinheiros de uma embarcação de Kalemie durante a visita ao Porto de Kigoma).

A saída para o rio Lukuga está localizada a uma pequena distância para norte do porto. O escoamento produz correntes no lago que convergem para a entrada do rio. Isso pode ser visto nos caminhos de sedimentos finos que são transportados para o rio (ver figura junta).



Na imagen do Google Earth de 2006 (ver figura em baixo) identifica-se agitação de Sudeste. Estas ondas ao rebentarem perto da margem, forçam a suspensão de sedimentos na água e ao mesmo tempo geram correntes de sul para norte. Como exemplo da dinâmica sedimentar local mostra-se a evolução sedimentar do exterior do porto entre 2002 e 2009. Existe uma linha de água imediatamente a sul do porto (Rio Kalemie), a qual entre os anos de 2002 e 2006 produziu um depósito de sedimentos nitidamente visível na margem do lago, perto do enraizamento do quebra-mar. Nos anos seguintes, a saliência desapareceu, como se vê na imagem de 2009. A entrada do porto mostra um depósito junto da cabeça do quebra-mar, no seu lado interno. Este é um padrão típico de dinâmica sedimentar em portos costeiros com estruturas semelhantes.



Evolução sedimentar no porto de Kalemie

5 Balanço Hídrico do Lago e impactes no Nível do Lago

5.1 Considerações Gerais

O nível de água do Lago Tanganica é certamente o principal factor que afecta o risco associado às atividades humanas. Se o nível for baixo, a navegação dos maiores navios é afectada e pode até mesmo impedir o seu acesso aos portos do lago ou, pelo menos, condicionar esse acesso. Por outro lado, se o nível aumenta muito, as partes mais baixas das aldeias da margem do lago são inundadas e, no mínimo, podem ocorrer perdas materiais importantes. Consequentemente, este é um assunto que merece a atenção das autoridades que lidam com os territórios da margem do lago.

Existem 3 escalas de tempo relacionadas com a evolução do nível da água, que têm importância na utilização do Lago Tanganica.

a. Escala de tempo mensal

A distribuição mensal das chuvas no lago é bastante semelhante ao longo dos anos. Considerando o ano meteorológico, há uma estação seca de Junho a Setembro e uma estação das chuvas de Outubro a Maio. O nível no lago apresenta uma variação com amplitude da ordem de 0,8 a 1,0 m. O valor mínimo ocorre em Outubro no final da estação seca. O nível máximo é alcançado em Maio no final da estação das chuvas.

b. Escala de tempo anual

O balanço hídrico anual do lago não é nulo. Devido à variabilidade da precipitação anual sobre o lago e sua bacia hidrográfica, os níveis máximo e mínimo anuais variam dentro de um intervalo limitado.

c. Escala de tempo de década

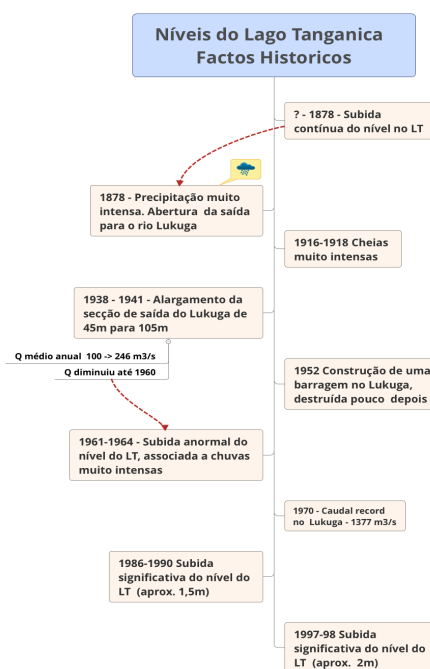
Na ordem da(s) dezena(s) de anos, podem ocorrer anomalias nos valores da precipitação, correspondentes a uma série de anos secos ou a um ou mais anos consecutivos de precipitação forte. Essas ocorrências podem ter influência significativa nos níveis do lago e, em consequência, na vida das comunidades locais. De acordo com os dados existentes, as situações de chuvas muito fortes estão relacionadas com anomalias meteorológicas identificadas e ocorreram 3 vezes ao longo do século XX.

5.2 Regime de níveis no Lago Tanganica

Nota: Os níveis são referidos ao nível médio do mar (aMSL – Above Mean Sea Level)

A história da variação de nível do lago Tanganica é apresentada em muitas publicações. Algumas delas abordam o tema numa escala de tempo associada à evolução geológica dos lagos da região, o que para além do interesse científico, tem pouca importância para o estudo que é objecto desta comunicação. Além desses estudos, há muitos dados relativos à variação de nível no lago ao longo dos últimos 150 anos. Nem todos esses dados são coincidentes. No entanto, alguns factos estão provados e devem constar do quadro de quaisquer considerações sobre a evolução do nível do lago. Esses factos são:

- Durante um longo período antes de 1878, não houve saída directa do lago. A perda de água do lago era feita exclusivamente pela evaporação (a agricultura e o consumo humano de água são irrelevantes para esta análise). Durante o meio século anterior, o nível da água subiu gradualmente até chegar ao nível da crista de um dique natural existente onde hoje é a saída do Lago Tanganica para o Rio Lukuga. Esse dique foi formado pela acumulação de sedimentos e detritos. O nível da crista do dique era de aproximadamente 783,5 m aMSL



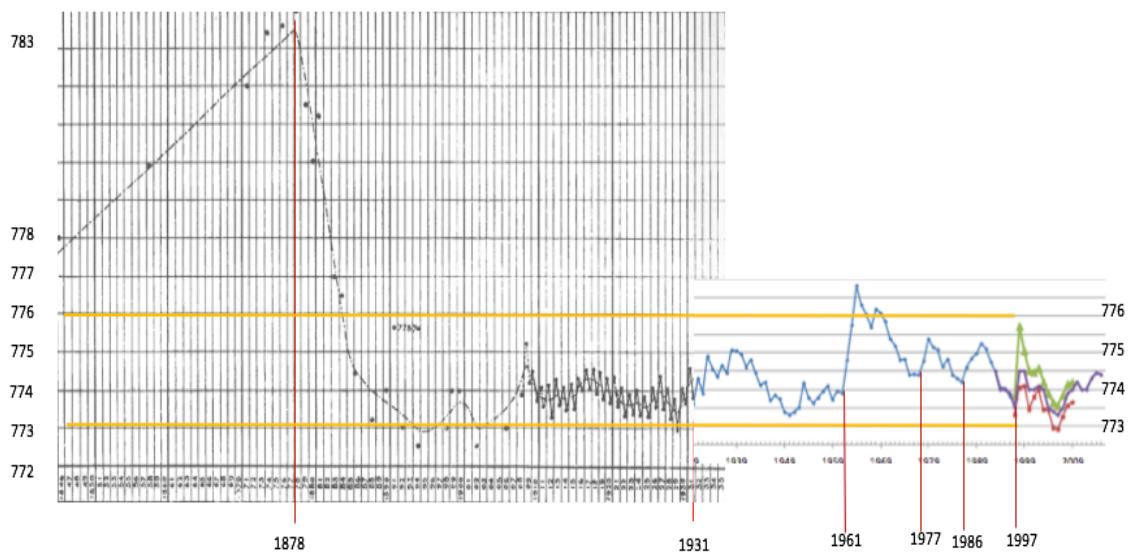
- Em 1878, o nível no lago ultrapassou a cota do dique provocando o estabelecimento de um canal de saída, cujo aprofundamento provocou o aumento do caudal. Os elevados caudais estabelecidos arrastaram os materiais do dique e foi estabelecida uma saída permanente.
- Durante os 10 anos seguintes, os níveis no lago diminuíram gradualmente até atingirem valores anuais mínimos na ordem de 773 mASL.
- A erosão da secção de saída para o Rio Lukuga foi interrompida pela existência de uma camada de rocha dura à cota de 772,5 mASML, um pouco abaixo do nível mínimo atual. A partir de 1888, o nível estabeleceu-se entre 773 e 775,5 mASL, com alguns episódios de níveis muito baixos e muito elevados.
- Uma situação importante de subida do nível ocorreu nos anos de 1961 e 1962, em correspondência com valores anormalmente elevados da precipitação anual. Os níveis atingiram valores acima de 776,5 mASL.
- Outras situações anormais ocorreram, sempre associadas a episódios de chuvas anormais, como demonstra a sua coincidência com situações semelhantes nos outros lagos da região.

Mesmo após o episódio de 1878, o leito e as margens do rio Lukuga estavam cobertos por vegetação densa. Só após a remoção dessa vegetação, a secção inicial do Rio Lukuga atingiu capacidade importante como saída do lago. Mesmo assim, apenas entre 1938 e 1941, a largura da saída do Rio Lukuga foi aumentada de 45 para 105 m.

Os dados "antigos" existentes, do século XIX e início do século XX, têm interesse qualitativo, e a sua utilidade deve ser cuidadosamente discutida.

O nível médio do mar é considerado o Datum de referência, e as condições orográficas dificultaram o estabelecimento de referências topográficas de confiança na zona do lago. Na verdade, essas referências apenas foram estabelecidas no início do século XX. De 1888 a 1908 existem diferenças significativas nos dados das fontes consultadas. Somente em 1922, foi iniciado o registo sistemático dos níveis de água. Actualmente, a observação por satélite facilita a recolha sistemática do nível no Lago Tanganika.

A figura seguinte resulta da junção de dados compilados por Devroey [7] em 1938, e por Otieno Odonga & Partners [2], e mostra a evolução do nível do Lago Tanganica de 1845 à actualidade



5.3 Factores que afectam a evolução do nível no Lago Tanganica

A evolução do nível da água do lago Tanganica depende de 4 factores, que definem o balanço hídrico anual do lago. Esses fatores são:

- Precipitação directa no lago
- Evaporação directa do lago
- Afluxo da bacia hidrográfica
- Saída pelo rio Lukuga

5.3.1 Factores não controláveis

A precipitação e a evaporação são factores climáticos não controláveis pelo homem, devendo ser considerados como entidades estatísticas no cálculo do balanço hídrico.

5.3.2 Factores controláveis indirectamente

O afluxo anual da bacia hidrográfica corresponde ao volume da precipitação na bacia, menos a soma do volume da evapotranspiração com o volume retido por meios naturais ou artificiais.

5.3.3 Factores controláveis directamente

O rio Lukuga é a única saída directa do lago Tanganica. O rio Lukuga descarrega na bacia do rio Congo. O caudal de saída depende da geometria do acesso do Lago Tanganica ao Rio Lukuga, bem como do nível da água do lago.

5.4 Esquema do mecanismo de variação do nível do lago

Nota preliminar: por razões de clareza, os volumes referidos nas considerações sobre o balanço hídrico do Lago Tanganica serão indicados como alturas de água em mm (sobre toda a superfície do lago).

Durante um ano hidrológico, o nível no lago varia de acordo com as características das ocorrências de quatro fatores relevantes (ver quadro). A mudança de nível anual resultante, corresponde ao saldo desse ano, o qual pode ser positivo (ano húmido) ou negativo (ano seco).

Factor	Efeito	Características
Chuva directa no Lago	Subida do nível	Não controlável. Forte variação anual e interanual
Evaporação do Lago	Descida do nível	Não controlável. Fraca variação anual e interanual
Afluxo da Bacia Hidrográfica do Lago	Subida do nível	Alguma controlabilidade a longo prazo. Forte variabilidade anual e interanual.
Caudal saído através do Rio Lukuga	Descida do nível	Controlabilidade limitada. Caudal dependente da geometria da passagem e do nível do lago.
Balanço hídrico =	Resultante dos 4 resultados acima	O balanço hídrico anual tem normalmente um valor absoluto com ordem de grandeza de 100mm.

Ao longo do ano, o nível do lago muda principalmente de acordo com as quantidades de precipitação e evaporação. O nível máximo é atingido em Maio, fim da estação húmida, e o nível mínimo acontece em Outubro, final da estação seca. Para condições meteorológicas normais ao longo do ano, a amplitude da variação do nível está entre 800 e 1.000 mm. Para alguns anos anormais do século XX, essa diferença atingiu valores até 2.000mm. Para a configuração actual do Rio Lukuga e para condições climáticas normais, os níveis de água, referidos ao MSL (nível médio do mar), variam aproximadamente entre 773m e 775m. Com a ocorrência de anos de precipitação anormal, os níveis atingiram valores de cerca de 776,5 m aMSL. Para os anos secos anormais ou sequências de anos secos, o nível médio pode atingir valores de cerca de 773 m aMSL.

6 O problema do controle do nível do Lago Tanganica

6.1 Abordagem qualitativa

A ideia de controlar o nível do Lago Tanganica surgiu a partir de dois problemas diferentes:

- Níveis muito elevados podem causar a inundação das aldeias na margem do lago com consequências na vida de suas populações.
- Níveis muito baixos causam perturbações nas condições de navegação nas áreas portuárias, as quais podem permanecer não operacionais por longos períodos.

Como referido anteriormente, existem dois factores que afectam o nível do lago e que admitem algum controlo. Eles são o afluxo da bacia hidrográfica e caudal saído do lago através do rio Lukuga. Ambos têm problemas e limitações.

6.1.1 Controlo do afluxo da bacia hidrográfica

A definição do volume de água que entra no lago a partir da bacia hidrográfica é um problema clássico da hidrologia, o qual consiste em determinar qual a parte do volume de precipitação na bacia que entra no lago. Dada a grande extensão da bacia, a sua heterogeneidade, bem como a escassez de dados de precipitação, torna-se impossível obter resultados precisos a partir de cálculos hidrológicos. Apenas podem ser feitas considerações qualitativas quanto aos efeitos do desmatamento e do cultivo da terra (i) na distribuição dos fluxos ao longo do ano, (ii) na evapotranspiração, (iii) e no transporte de sedimentos resultante da erosão. O controle do fluxo só pode ser feito com algum significado, através do controle de florestação/desflorestação e cultivo do solo. No entanto, esse é um controle limitado e de longo prazo, que não tem interesse prático na evolução do nível do lago no futuro próximo.

6.1.2 Controle do caudal do Rio Lukuga

Actualmente, o volume anual que sai do Lago através do rio Lukuga corresponde a uma variação de nível do Lago entre 80 mm e 120 mm, embora alguns autores indiquem valores mais elevados. O período utilizado para essas estimativas pode influenciar os cálculos por vários motivos: (i) inclusão de períodos chuvosos anormais aos quais correspondem caudais elevados versus períodos secos com baixas caudais, (ii) alterações da secção de transição do Lago Tanganica para a Rio Lukuga.

O controle do caudal do Rio Lukuga só pode ser realizado através de intervenção na geometria da secção de transição do Lago para o Rio. Esquematicamente, essa secção é uma secção trapezoidal, que se pode transformar modificando o nível inferior (por exemplo, construindo uma soleira) e / ou alterando a largura do leito e a inclinação das margens.

Antes de estudar qualquer solução, devem ser definidos os limites superior e inferior admitidos para o nível do lago, tendo em consideração que:

- a inundação das margens deve ser evitada por haver povoações situadas a cotas próximas dos níveis máximos habituais do lago;
- os níveis de água devem permitir a navegação em todas as condições dos navios que garantem o transporte de pessoas e bens, como base para a sustentabilidade das actividades económicas no lago.

Ao analisar os dados históricos do nível desde o início do século XX, pode ver-se que, com condições naturais na saída para o Rio Lukuga, os níveis raramente estiveram abaixo de 773 aMSL, e somente após o episódio anormal de 1961 subiram acima de 776 aMSL.

As considerações seguintes estão necessariamente associadas a qualquer tipo de solução para o controle do nível:

1. Um sistema de controle que pretenda evitar valores do nível do lago abaixo de um determinado limite, aumentará o risco de subida do nível até valores superiores aos que ocorreriam sem esse controle. Isto, porque os níveis no início da estação das chuvas em média se tornarão maiores.
2. Um sistema de controle que pretende evitar a ocorrência de níveis excessivos do lago deve ser necessariamente baseado no aumento da capacidade de descarga do rio Lukuga. Dessa forma, o risco de atingir níveis muito baixos aumentaria.

A partir destas considerações, pode concluir-se que qualquer sistema de controle artificial de nível deve, ou ser muito limitado nos seus objetivos, ou conter mecanismos complexos para evitar os riscos enunciados. Este seria certamente um sistema muito elaborado, sem possibilidade de ser gerido com os meios locais.

Assim, para atingir os objetivos de boas condições de navegação e para evitar níveis do lago muito elevados, podem ser considerados dois tipos de solução:

A. Deixar a saída para o Rio Lukuga como está e dragar os acessos portuários e as bacias de manobra aos níveis necessários (dragagens principal e de manutenção).

B. Construir uma pequena (0,5 m?) barragem (soleira) em Lukuga, reduzindo assim os volumes de dragagem dos portos. Relativamente a esta solução, deverá ter-se em consideração que (i) uma barragem construída nos anos 50, foi destruída ao fim de poucos anos de funcionamento (ii) uma sucessão de anos secos pode fazer baixar o nível abaixo da crista da soleira, por efeito da evaporação, (iii) o volume anual saído pelo Rio Lukuga representa, em anos normais, uma pequena parte do volume saído por evaporação (ordem de grandeza de 10 a 15%)

6.2 Abordagem Quantitativa do Controle do Nível do Lago

Nos pontos anteriores, foi feita uma abordagem qualitativa do tema da controlabilidade do regime de nível de água no Lago Tanganica. Uma abordagem quantitativa deve ser baseada no estabelecimento de valores realistas do balanço hídrico e da estimativa de sua variabilidade anual. Esta necessidade choca com (i) a falta de dados confiáveis; (ii) a imprevisibilidade de alguns factores; (iii) o agravamento dessa imprevisibilidade, causado pelas esperadas alterações climáticas.

6.2.1 Balanço Hídrico do Lago Tanganica

O problema do controlo do nível da água no lago Tanganica deve ser inserido no seguinte quadro de referência:

- i. A geometria do lago e da sua bacia hidrográfica
 - a. A área do lago é enorme $37,32 \times 10^9 \text{ km}^2$
 - b. A área da bacia hidrográfica é de $209,4 \times 10^9 \text{ km}^2$
- ii. Existem 6 factores que afectam o balanço hídrico anual do lago:
 - a. R - Precipitação na superfície do lago
 - b. E - Evaporação da superfície do lago
 - c. IC - Afluxo da bacia hidrográfica do lago
 - d. L (IL) - Nível do lago
 - e. IL - Nível inicial do lago
 - f. OF (L) – Caudal anual do rio Lukuga
- iii. Esses 6 fatores têm as seguintes características principais: (*unidades de volume em mm de variação nível de lago*)
 - a. Precipitação na superfície do lago (R)
 - Valor médio anual estimado entre 900 e 1090 mm
 - Valores anuais variando entre limites afastados (700mm - 1200mm)
 - Distribuição bem previsível ao longo do ano
 - b. Evaporação da superfície do lago (E)
 - Valor médio anual estimado entre 1319 e 1695mm
 - Pequenas variações mensais ao longo do ano
 - Pequenas variações interanuais
 - c. Afluxo da bacia hidrográfica do lago (IC)
 - Valores anuais estimados, variando entre limites afastados (429mm - 955mm)
 - Distribuição previsível ao longo do ano
 - d. Saída através do rio Lukuga (OF (L))
 - Volume de descarga médio anual estimado entre 83 e 365mm
 - Condicionado pela geometria do leito da saída para o rio
 - Dependendo do nível do lago (Para efeitos de balanço anual, L é o nível médio ponderado correspondente ao caudal anual do rio Lukuga, ou seja, o nível que corresponderia à descarga total anual, se o caudal fosse constante no tempo).
 - Nível inicial do lago (IL). Igual às condições finais do ano anterior

Alguns exercícios numéricos realizados com estes valores demonstraram dificuldade em compatibilizar os valores indicados no ponto (iii), o que pode dever-se à qualidade dos dados recolhidos. A equação do balanço hídrico para o lago pode ser escrita em termos de variação de nível anual (LV):

$$LV = R - E + IC - OF (L(IL))$$

No que diz respeito à controlabilidade de cada fator do balanço hídrico, pode afirmar-se o seguinte:

- A precipitação está fora do controle humano e não é previsível dentro de limites úteis;
- A evaporação está fora do controle humano, mas é previsível dentro de limites úteis;
- O afluxo da bacia hidrográfica (IC) depende precipitação (R) e das características hidrológicas da bacia hidrográfica, que não mudam a curto prazo.
- O caudal anual saído para o Rio Lukuga depende da geometria (curva de vazão) da secção inicial do rio. O nível inicial IL e o nível médio ponderado L, afectam a descarga total anual. Isso significa que, mantendo o valor de todos os outros fatores, o saldo anual depende do nível do lago no primeiro dia do ciclo anual.

6.2.2 As variações de nível do Lago Tanganica

Dada a grande área do lago, a qualquer variação de nível, mesmo pequena, corresponde um enorme volume de água, como demonstram os números seguintes:

- 1 mm de variação de nível no lago corresponde a um volume de $37,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
- A precipitação de 1 mm na bacia hidrográfica corresponde à entrada de água de $41,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ no lago (admitindo que o coeficiente de escoamento é 0,2)
- A diminuição de 1mm no nível do lago corresponde a um caudal através do Rio Lukuga de $Q = 432 \text{ m}^3/\text{s}$ durante um dia. (Excluindo a diminuição do nível devido a outros motivos)

Quanto aos valores dos níveis de água no lago, existem alguns pontos a ser considerados:

- O nível natural da descarga para o rio Lukuga é condicionado por fundos rochosos à cota 772,5 m aMSL.
- É admitido que o nível de água máximo aceitável no lago é de 776 m aMSL, de forma a evitar a inundação das aldeias da margem do lago.
- Desde 1930:
 - O nível 776 m aMSL foi excedido em 1964, após uma série de 3 anos anormalmente chuvosos;
 - o nível 776 m aMSL foi excedido em 1967 (partindo de um nível inicial elevado na sequência do episódio anterior);
 - níveis inferiores a 774 m aMSL ocorreram entre 1948 - 1951, em 1997 e de 2003 a 2008;
 - níveis abaixo de 773,5 m aMSL são muito menos frequentes;
 - níveis abaixo de 773 m aMSL são eventos raros.

6.3 Variações anormais do nível do Lago Tanganica

As seguintes citações, relacionadas com situações anormais do nível do Lago Tanganyica, foram extraídas de [8] – CONWAY, D. - Extreme Rainfall Events and Lake Level Changes in East Africa.

“Nicholson (1999), for example, cites the explorer Thompson as reporting Lake Tanganyika's maximum level was in 1878. Lake Tanganyika has an intermittent outlet dependent on lake level into the Lukuga river which discharges into the Congo. From documentary evidence Nicholson (1999) notes that 1878 was a year of very heavy rains which opened the Lukuga outlet which reportedly led to flooding in the Congo river.”

“Lyons (1906) reports travelers’ observations of high rainfall and lake levels in both MAM and ON seasons in 1877 and that the ‘lake rose three feet [0.91m] above its usual June maximum in August and September, 1878, in consequence of the heavy rains’ (p.35). Lyons makes no mention of the ON rains in 1878. It is noteworthy that 1878 was also the year of a major ENSO event.)”

“Towards the end of 1961 an extreme rainfall event occurred that extended over much of East Africa stretching across the Indian Ocean to India. This event caused widespread flooding, rapid and prolonged increases in the levels of many lakes in East Africa and significant economic disruption (Odingo, 1962; Mörrh, 1967).”

“During the last few months of 1997, in a similar fashion to 1961, heavy rainfall caused flooding across East Africa (FAO/GIEW, 1998; Birkett et al., 1999).”

“The principal driving mechanism of these extreme events has recently been established, a dipole reversal in atmospheric circulation and Indian Ocean sea surface temperatures (SSTs, Webster et al., 1999; Saji et al., 1999). Rapid progress is being made in understanding the dynamics of the event, for instance Latif et al. (1999) have directly related rainfall anomalies with Indian Ocean SSTs in ensemble general circulation model (GCM) experiments.”

Pode concluir-se que, mesmo que os eventos extremos não sejam muito frequentes, eles afectam fortemente as atividades ligadas ao Lago Tanganica, as quais são as mais importantes para grande parte das pessoas que vivem ao redor do mesmo.

7 The control of the levels by a dam in the Lukuga River

Como foi dito antes, a única forma possível de controlar o nível do lago é a construção de uma barragem na entrada do rio Lukuga.

O caudal descarregado por sobre a crista de uma barragem depende principalmente da altura da água acima dela e do desenvolvimento dessa crista.

Então, se se construir uma barragem na saída do rio Lukuga, após alguns anos de precipitações normais, os níveis no lago deverão atingir o nível da crista da barragem. Depois disso, o fluxo será descarregado sobre a crista da barragem.

O caudal dependerá da altura da água acima da crista. Se o comprimento da crista for igual à largura da descarga atual, o caudal correspondente a uma certa altura acima do nível da crista da barragem, será da mesma ordem de grandeza de um escoamento com a mesma altura acima do nível inferior da secção do rio na situação actual.

- Então, se for construída uma barragem com a crista a uma altura Δh acima do nível inferior da saída do Lukuga, os níveis no lago aumentarão aproximadamente Δh metros em alguns anos. (Ou, a curva de variação do nível será deslocada aproximadamente Δh metros)
- Se ocorrer uma série de anos secos, o nível da água estará abaixo do nível da crista da barragem, no mesmo padrão que ocorreria actualmente abaixo do nível de entrada de Lukuga.
- Se uma série de anos de chuva muito forte como 1961, 1962 ocorrer, o aumento do nível seria aproximadamente o mesmo que ocorreu então. Mas o nível de partida seria cerca de Δh metros acima. Assim, a inundação das margens do lago teria consequências mais graves.

Esta análise é necessariamente simplificada, pois a geometria da secção de descarga variaria com o nível da água. No entanto, o caudal do Lukuga constitui uma pequena parte da perda do Lago, quase totalmente constituída pela evaporação, o que torna irrelevante a importância do erro da análise realizada.

Conclusões sobre a construção de uma Barragem no Rio Lukuga

a) Vantagens

- O nível da água no lago permanecerá menos tempo abaixo do nível mínimo aceitável para fins de navegação, enquanto a sedimentação nos portos não atingir níveis correspondentes às necessidades de dragagem;

b) Desvantagens

- O risco de ocorrência de inundações na margem (nível > 776 m aMSL) aumentará significativamente;
- O risco de ocorrência de níveis muito baixos (inadequados para a navegação) diminui, mas não é anulado. Uma sequência de anos secos pode provocar impossibilidade de navegação em alguns portos.

c) Condicionamentos

- A altura da barragem é limitada pela subida do nível do lago relativamente às cotas dos cais dos portos principais.

d) Alternativa

- A realização de dragagens de estabelecimento e manutenção, bem como a melhoria de condições em alguns portos, permitirá desenvolver boas condições de operação nos diversos portos, de acordo com a evolução das necessidades.

8 Nota Suplementar:

Deve ter-se em consideração que as mudanças climáticas esperadas, afectarão o regime de níveis do Lago Tanganica. Como os anos de chuvas anormalmente elevados estão associados à ocorrência de situações anormais no Oceano Índico (situações semelhantes à ocorrência de "El niño"), será de esperar que fenómenos anormais (inundações e secas) ocorram com maior frequência. Estes aspectos devem ser considerados na decisão de realizar ou não uma intervenção na saída do lago Tanganica para o Rio Lukuga.

9 Bibliografia

- [1] Banque Mondiale - Lac Tanganyika -Projet de Barrage sur la Lukuga - Rapport. March 2016
- [2] Otieno Odonga & Partners - Hydrological and Hydraulical Modeling of Lake Tanganyika. Report submitted to COMESA. 2013
- [3] L. Bergonzini et al. - Variation Interannuelle du Bilan Hydrique du Lac Tanganyika (1932-1995): Changement dans la Relation Précipitation – Excédent Lacustre. Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques 47(5) Octobre 2002
- [4] Laurent Bergonzini, David Williamson et Jean Albergel - L'Hydrologie et la Limnologie Autour du Lac Tanganyika. (Web) horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins.../010066445.pdf 2015
- [5] Crul, R. - Limnology and Hydrology of Lakes Tanganyika and Malawi. Studies and Reports in Hydrology 54. UNESCO publishing
- [6] SMEC International Pty Ltd - Preparation of an Integrated Water Resources Management and Development Plan for the Lake Tanganyika Basin - Climate Change Assessment Report - February 2014. Lake Tanganyika Basin Water Board, Ministry of Water, United Republic of Tanzania
- [7] Devroey, E. – Le problème de la Lukuga, Exutoire du Lac tanganyika. Institut Royal Colonial Belge. Section des Sciences Techniques. Mémoires.- Collection in-8°. Tome I, fascicule 3. Bruxelles. 1938
- [8] - Conway D. - Extreme Rainfall Events and Lake Level Changes in East Africa. Recent Events And Historical Precedents. in *E.O. Odada and D.O. O'Lago (eds.), The East African Great Lakes: Limnology, Palaeolimnology and Biodiversity*, 62-92. © 2002 Kluwer Academic Publishers.
- [9] - Timo Huttula (Ed.) (Flux, Thermal Regime and Studies of Sediment Transport in Lake Tanganyika. 1997