

CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE BARRAGENS POR ÍNDICES DE RISCO – UM ESTUDO DE CASO

Risk classification of dams for risk indices - a case study

Sandra Keila de Oliveira Baima*

José Nilson Bezerra Campos**

RESUMO – No Brasil a Lei Federal nº 12 334/2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), cujo objetivo é estabelecer a linha de base para avaliação e acompanhamento da implementação da referida política, servindo como ferramenta de análise de sua efetividade na redução de acidentes e na melhoria da gestão da segurança das barragens brasileiras. A lei esclareceu e reforçou a responsabilidade legal do empreendedor em manter as condições de segurança de sua barragem, bem como definiu o respectivo órgão fiscalizador, em função do uso que é dado ao barramento. Definiu também uma série de instrumentos de gestão da segurança, tornando-os obrigatórios a partir de então, e dentre os instrumentos, estabeleceu, através da resolução CNRH nº 143/ 2012, o sistema de classificação por categoria de risco e de dano potencial associado. Neste sistema de classificação, certas características técnicas da barragem e do vale à jusante, chamadas de descritores, deverão ser pontuadas, resultando em valores que auxiliam na classificação da barragem em função do risco. Esta metodologia é conhecida como índice de risco. Neste trabalho dois destes índices, o índice global de risco e o índice da resolução CNRH Nº 143/ 2012, são aplicados a uma barragem de terra. Os resultados obtidos permitem realçar que estes métodos se relacionam diretamente com o tipo de barragem em questão e com as condições locais e ambientais em que as obras se inserem.

SYNOPSIS – In Brazil, the Federal Law No. 12 334/2010, established the National Policy on Safety of Dams (NPSD), whose goal is to establish a baseline for evaluation and monitoring of the implementation of this policy, serving as an analysis tool of its effectiveness in reducing accidents and improving safety management of the Brazilian dams. The law clarified and strengthened the legal responsibility of the entrepreneur to maintain the dam safety conditions, as well as set the supervisory body, depending on the use that is given to the structure. Also it has defined a set of tools for security management, making them mandatory from now on, and among the instruments established by the resolution CNRH No. 143/2012 is the classification system by risk category and associated potential harm. In this classification system, certain technical characteristics of the dam and of the downstream valley, called descriptors, should be rated resulting in values that assist in the classification of the dam according to risk, this approach being known as a risk index. In this work, two of these indices, the overall risk index and the index of resolution CNRH No. 143/2012, are applied to an earth dam. The results obtained show that these methods are directly related to the type of dam in question and with the local and environmental conditions in which the works are located.

PALAVRAS CHAVE – Barragens, segurança, análise de risco, índices de risco.

* Engenheira Civil do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).
E-mail: sandra.baima@dnocs.gov.br

** Professor Doutor da Universidade Federal do Ceará. E-mail: nilson@ufc.br

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil a Lei nº 12 334, sancionada em 20 de setembro de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens, criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), e define:

- (a) as características das barragens que se enquadram na nova política;
- (b) a competência dos fiscalizadores;
- (c) as responsabilidades do empreendedor da barragem;
- (d) as sanções no caso de descumprimento da lei.

Com a publicação da lei de segurança de barragens, houve uma mudança de paradigma, eliminando o vácuo institucional e estabelecendo uma cadeia de responsabilidades relacionadas à segurança das barragens construídas no Brasil. A lei esclareceu e reforçou a responsabilidade legal do empreendedor em manter as condições de segurança de sua barragem, bem como definiu o respectivo órgão fiscalizador, em função do uso dado ao barramento. Definiu também uma série de instrumentos, todos eles previstos na literatura técnica do setor e considerados “boas práticas” de gestão da segurança, tornando-os obrigatórios a partir de então. Dentre os instrumentos, estabeleceu o sistema de classificação por categoria de risco e de dano potencial associado, o plano de segurança de barragens, que engloba importantes elementos como as inspeções periódicas e especiais, plano de ações de emergência (PAE) e revisão periódica de segurança.

A lei 12 334/2010 define órgão fiscalizador como a autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência. São quatro as entidades federais fiscalizadoras de segurança de barragens:

- ANA – Agência Nacional de Águas, responsável pela fiscalização de barragens para acumulação de água, localizadas em rios federais;
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, responsável pela fiscalização de barragens para geração de energia;
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, responsável pela fiscalização de barragens para fins de disposição de resíduos industriais, exceto os nucleares;
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, responsável pela fiscalização de barragens para contenção de rejeitos.

A lei 12 334/2010 define empreendedor como o agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade, sendo também o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la.

No universo das barragens com empreendedores conhecidos, 43 empreendedores detêm o total de 1744 barragens, sendo, portanto, responsáveis por 13% do total de barragens cadastradas. Em número de barramentos cadastrados destacam-se a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) na geração hidrelétrica, a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) com barragens de irrigação, o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) com barragens para usos múltiplos e a Mineradora Vale com barragens de rejeito de mineração. Esses quatro empreendedores representam, em conjunto, cerca de 6% das barragens cadastradas, com empreendedor conhecido no Brasil (ANA, 2012).

Como pela lei o empreendedor obriga-se a prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem e observando o montante de barragens da Fig. 1 pode-se concluir que, para entrarem em conformidade com a nova lei, estes empreendedores deverão passar por adequações não só de ordem técnica, mas também orçamentárias.

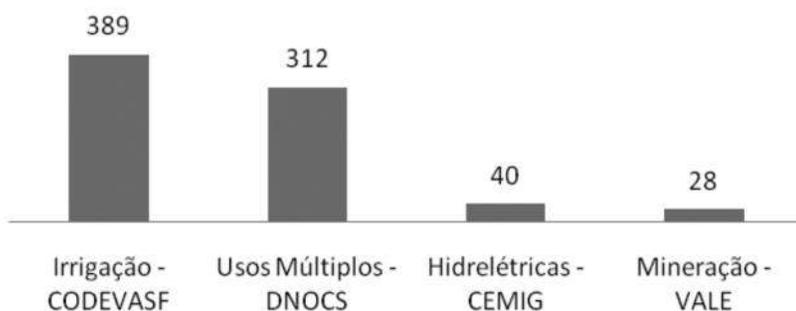


Fig. 1 – Maiores empreendedores brasileiros em número de barragens.

2 – PORTFÓLIO DE BARRAGENS DO DNOCS

O DNOCS foi criado em 21 de outubro de 1909, sob a denominação de Inspeção de Obras Contra as Secas (IOCS). Em 1919 recebeu o nome de Inspeção Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), antes de assumir sua denominação atual, DNOCS, que lhe foi conferida em 28 de dezembro de 1945. É um órgão público, autarquia federal, ligado ao Ministério da Integração, com atuação na zona semiárida.

A zona semiárida é caracterizada, sobretudo, por uma precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, uma evapotranspiração potencial acima de 2000 mm e rios, em sua maioria, intermitentes. Nesta zona diferenciam-se nitidamente duas estações regionais: os períodos chuvosos, inverno, e os de estiagem, verão. Esta zona abrange oito estados da região Nordeste e o norte do estado de Minas Gerais (Fig. 2).

O DNOCS, a partir de 1945 e mais especificamente nas décadas de 50 e 60, intensificou suas ações no desenvolvimento dos recursos hídricos, com a ampliação da oferta de água, com destaque para a construção de três das quatro maiores barragens do estado do Ceará: Araras (1958), Orós (1962) e Banabuiú (1966). Em 2002, também no Ceará, foi inaugurada a barragem Castanhão, cuja capacidade de acumulação de 6,7 bilhões de m³ de água o coloca como o maior reservatório do país, não ligado ao sistema de geração de energia elétrica, podendo sua área molhada chegar a 33 225 km² quando atingir sua capacidade máxima.

Até 1920, o DNOCS havia construído 61 barragens, em 1930 este total subia para 96, em 1940 já contava com 128 barragens. De 1940 até 1981, o número de barragens aumentou para 263, estando atualmente, 2013, com 311 barragens construídas, armazenando um total de $26,2 \times 10^9$ metros cúbicos d'água (Quadro 1).

A lei 12 334/2010 define as características das barragens às quais se aplica:

- i. Altura do maciço, contada do nível mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m;
- ii. Capacidade do reservatório maior ou igual a 3 000 000 m³;
- iii. Reservatórios que contenham resíduos perigosos;
- iv. Categoria de dano potencial associado, médio ou alto - todas as barragens serão classificadas pelo órgão fiscalizador, segundo critérios estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 143/2012.

Observa-se que os principais critérios de enquadramento da barragem são suas dimensões - altura e volume, porém barragens menores que forem classificadas, pelo órgão fiscalizador, com dano potencial médio ou alto, também se enquadram na Lei nº 12 334/10. O DNOCS não possui nenhuma barragem em seu registro que contenha resíduos perigosos.

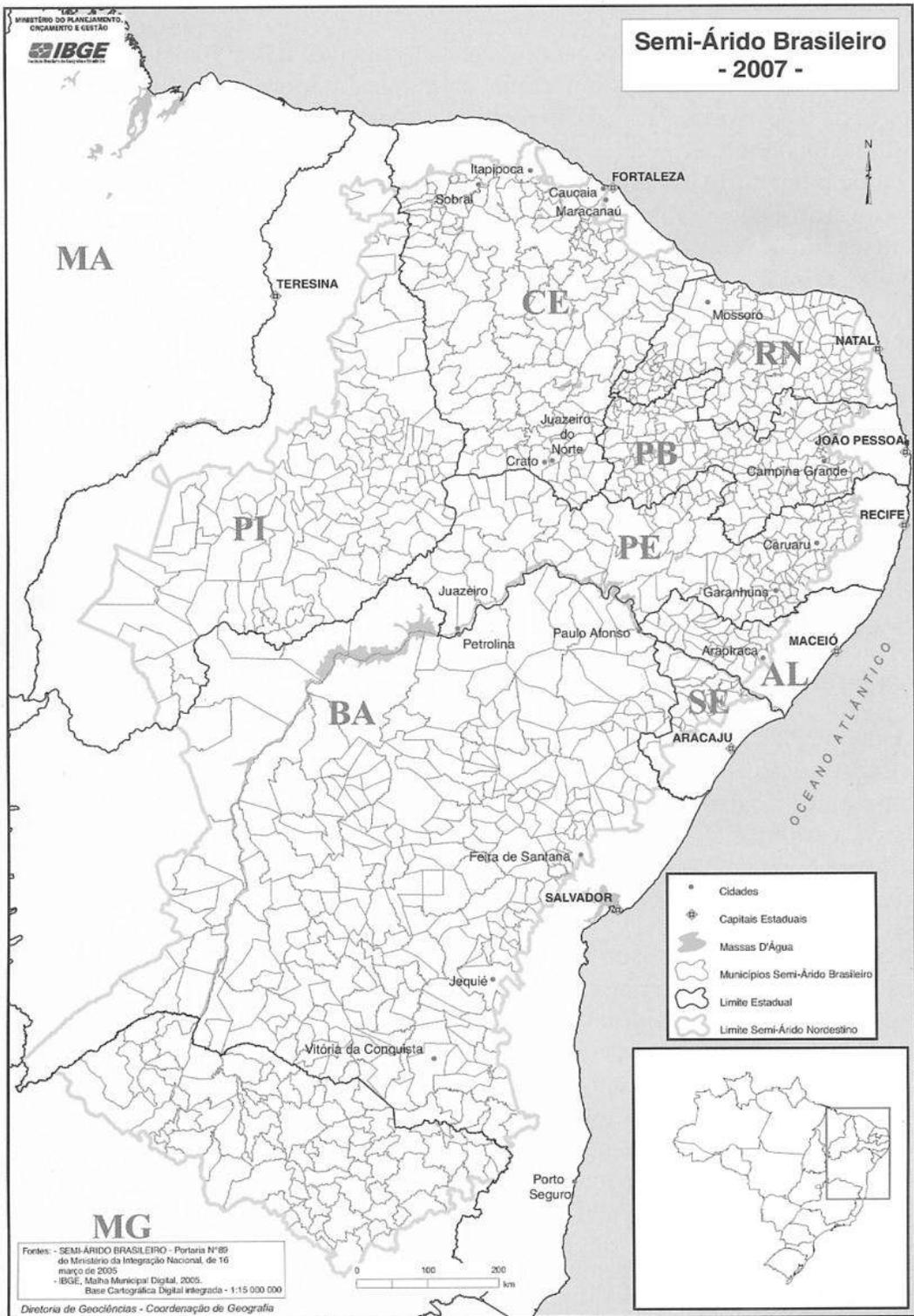


Fig. 2 – Delimitação do semiárido brasileiro (IBGE, 2007).

Quadro 1 – Distribuição de barragens construídas por estado.

Estado	Barragens Construídas
Alagoas	22
Bahia	34
Ceará	84
Maranhão	2
Minas Gerais	5
Paraíba	42
Pernambuco	38
Piauí	20
Rio Grande do Norte	53
Sergipe	11

A Fig. 3 mostra o número de barragens do DNOCS, por estado, que se enquadram nos critérios capacidade altura da lei 12 334/10.

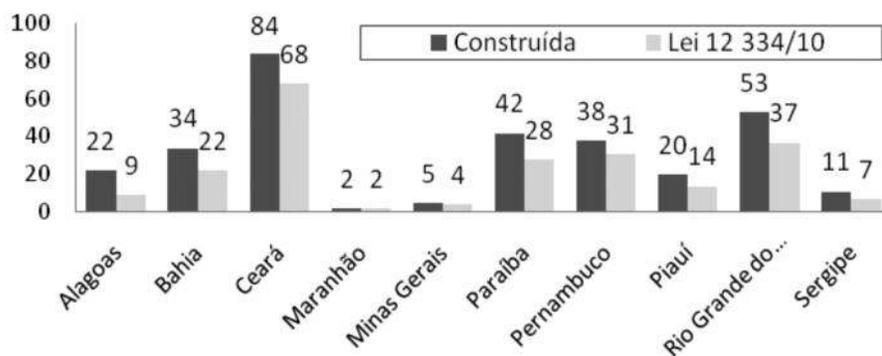


Fig. 3 – Barragens que se enquadram nos critérios capacidade e altura.

A sustentabilidade pelo conhecimento técnico proporcionou a construção de barragens cada vez mais altas o que implica em maiores volumes armazenados e aumento substancial de estruturas e infra-estruturas no vale à jusante, potencialmente atingidos por uma ruptura. Na Fig. 4 observa-se a evolução das alturas das barragens construídas pelo DNOCS e também a predominância das barragens com altura entre 10 e 30 m. A barragem de Jucazinho, construída em CCR, com 63 m de altura é a mais alta, seguida pela barragem do Castanhão, mista de terra e concreto, com 60 m e pela barragem Banabuiú, de terra zonada, com 57 m de altura.

No histograma da Fig. 5, observa-se que muitas das barragens, construídas pelo DNOCS, já atingiram um razoável período da respectiva vida útil e pretende-se (em geral) que as mesmas sejam exploradas por mais 50 anos (pelo menos), podendo exigir intervenções de reabilitação ou de reforço.

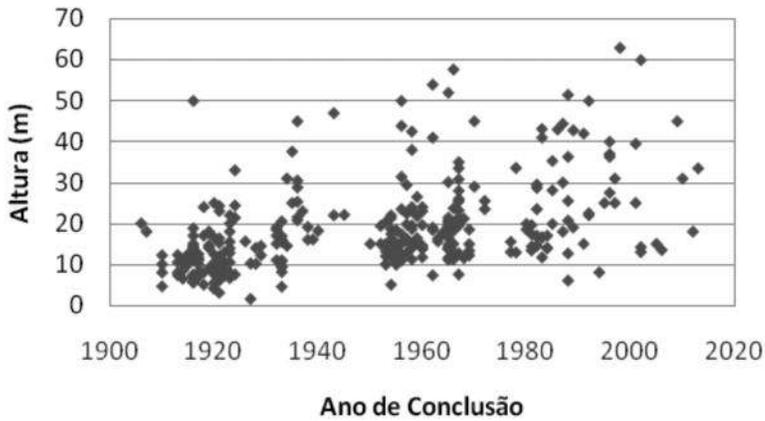


Fig. 4 – Evolução das alturas das barragens.

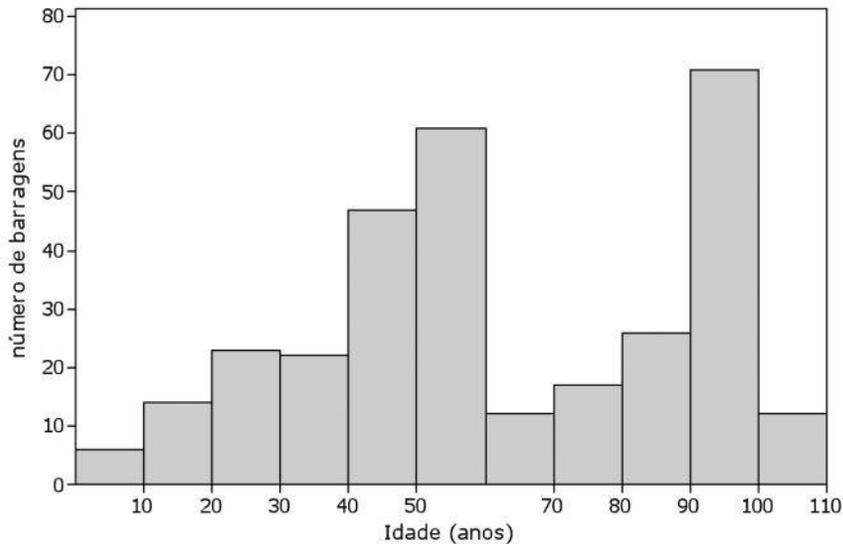


Fig. 5 – Histograma das idades das barragens do DNOCS.

O desenvolvimento técnico científico associado à grande versatilidade das barragens de terra, seja no que se refere à morfologia do vale de implantação, às condições de fundação ou à possibilidade de integração, no seu perfil tipo, de uma variedade de materiais naturais, generalizaram a construção deste tipo de obra pelo DNOCS. Como consequência o órgão possui, entre as suas atuais 311 barragens construídas, uma predominância quase absoluta de barragens de terra como mostra o Quadro 2. São barragens de terra, homogêneas ou zonadas, sendo estatisticamente irrelevantes as executadas em blocos de pedra, concreto ciclópico ou em concreto. Naturalmente, outras tecnologias foram sendo desenvolvidas, como, por exemplo, a do concreto compactado com rolo (CCR), empregado na construção das barragens do Castanhão (CE) e Jucazinho (PE).

Quadro 2 – Tipo de barragem conforme o material de construção.

Material	Percentual
Terra homogênea ou zonada	87,7%
Terra - enrocamento	0,6%
Enrocamento	1,0%
Alvenaria de pedra	5,8%
Concreto	3,5%
Terra - concreto	1,4%

Segundo Zuffo (2005), com base em registros históricos de McCully (2001), pode-se afirmar que as barragens mais sujeitas a *falhas* são as de terra (47%), seguidas pelas de enrocamento (21%), concreto de gravidade (12%), rejeitos (9%), em arco (7%), contrafortes e mista de arcos múltiplos e concreto de gravidade, ambas com cerca de 2%. Somente as barragens de arcos múltiplos não apresentaram acidentes.

Segundo Baptista (2009), a palavra falha merece destaque particular, pois, trata-se de um termo de grande utilização no âmbito das análises de riscos e caracteriza, de uma maneira geral, uma deficiência com capacidade para comprometer a função atribuída a um determinado componente ou subsistema.

A principal vulnerabilidade das barragens de aterro é que elas podem sofrer danos ou serem destruídas se a altura da barragem ou a capacidade do vertedouro forem insuficientes a ponto de levarem ao transbordamento e conseqüente erosão do maciço, ou ainda, se uma fuga de água descontrolada resultar em erosão interna do maciço ou da fundação (Miranda, 2011).

Araújo (1990), Menescal *et al.* (2004) e Miranda (2011) apresentam relatos de acidentes e incidentes ocorridos em barragens construídas pelo DNOCS (Quadro 3).

Quadro 3 – Barragens do DNOCS com acidentes e incidentes, compilado a partir de Araújo (1990), Menescal (2009) e Miranda (2011).

	Barragem/ Açude	UF	Tipo	Acidente/Incidente	Causa provável	Fase
1	Orós (1960)	CE	BTZ	Galgamento e conseqüente ruptura	Atraso no cronograma associado a cheia acima da média histórica para o período	Construção
2	Armando Ribeiro Gonçalves/Açú (1981)	RN	BTZ	Escorregamento do talude de montante na sua parte central provocando um desmoronamento de grandes proporções, da ordem de 1,5 milhão de m ³	Poro-pressão no período de construção	Final de construção
3	Engenheiro Ávidos/Piranhas (1963)	PB	BTZ	Recalques e movimentos que provocaram a abertura de algumas juntas	Sangria com lâmina máxima d'água de 0,30m	Operação
4	Arrojado Lisboa/Banabuiú (1961)	CE	BTZ	Escorregamento do talude de montante	Rebaixamento rápido do nível d'água para dar vazão à cheia	Construção
5	Eugênio Gudín/Acarape do Meio (1912)	CE	BAP	Barragem de desvio transbordou e rompeu uma das ombreiras	Intensas precipitações	Construção

Quadro 3 (Cont.) – Barragens do DNOCS com acidentes e incidentes, compilado a partir de Araújo (1990), Menescal (2009) e Miranda (2011).

	Barragem/ Açude	UF	Tipo	Acidente/Incidente	Causa provável	Fase
6	Trairí (1981)	RN	BTH	Transbordamento por sobre o maciço com lâmina máxima de 1,1m durante 5h	Precipitações intensas e arrombamento do açude Santa Cruz, a montante	Operação
7	Santa Cruz (1981)	RN	BTH	Ruptura do maciço devido ao seu transbordamento	Rompimento de seis pequenos açudes a montante liberando um volume estimado de 5 000 000 m ³	Operação
8	Epitácio Pessoa/ /Boqueirão de Cabaceiras (1956)	PB	BTH	Pouco tempo depois de sua conclusão, a barragem recebeu grande volume de água (320 milhões de m ³), após o que o reservatório foi esvaziado. Seguiu-se a este fato o aparecimento de trincas no maciço da barragem, junto à ombreira direita, e de recalque da crista junto à margem esquerda	Os trabalhos de recuperação não estão descritos na documentação técnica disponível	Operação
9	Cocorobó (1967)	BA	BTH	Escorregamento do talude de montante, cerca de 45 000m ³ de terra deslocados numa extensão aproximada de 100m	Porosidade no período de construção	Final de construção
10	Caldeirão (1956)	PI	BTZ	Depressões no talude de montante. Fuga d'água com carreamento de material, cinco surgências com altos valores	<i>Piping</i> através da fundação. Fundações em arenito com planos de estratificação com juntas de material alterado	Operação
11	Barreiras (1974)	PI	BTH	Fenda longitudinal no talude de jusante, aproximadamente 2m abaixo do coroamento; abatimentos no rip-rap de montante; levantamento do revestimento em pedra rejuntada das banquetas e ressurgência no pé de jusante, próximo à tomada d'água e no dreno de pé		Operação
12	Sta Maria (1924)	CE	BT	Arrombamento	Cheia superior à capacidade do sangradouro	
13	Patos (1924)	CE	BT	Arrombamento	Cheia superior à capacidade do sangradouro	
14	Ema (1940)	CE	BTH	Deslizamento do talude de jusante e ruptura total	<i>Piping</i>	Operação
15	General Sampaio (1940)	CE	BTZ	Percolação pelo túnel da tomada d'água com carreamento de material do maciço	Caminho preferencial de percolação no contato do maciço com a estrutura da tomada d'água não interceptado pelo sistema interno de drenagem	Operação
16	Caxitoré (1961)	CE	BTH	Trinca transversal no contato do maciço com a ombreira esquerda quando o maciço estava com 15m de altura	Dificuldade de compactação devido à inclinação elevada da ombreira	Construção

Quadro 3 (Cont.) – Barragens do DNOCS com acidentes e incidentes, compilado a partir de Araújo (1990), Menescal (2009) e Miranda (2011).

	Barragem/ Açude	UF	Tipo	Acidente/Incidente	Causa provável	Fase
17	São Mateus (1981)	CE	BTH	Erosões de grandes dimensões	Deficiência do sistema de drenagem associado a fortes chuvas	Operação após 5 anos
18	Farias de Souza (1986)	CE	BTH	Surgência a jusante numa extensão de 120m por três de largura		Primeiro enchimento (parcial)
19	Roberto Costa/ /Trussú (1997)	CE	BTH	Trincas longitudinais sobre o coroamento		Primeiro enchimento (parcial)
20	Piaus (2009)	PI	BTZ	Trincas transversais profundas junto às ombreiras, após o primeiro enchimento parcial do reservatório	Forma do vale muito estreito; fundação, no vale do rio, mais compressível que as ombreiras; alta velocidade de construção (50% do maciço executado em 4 meses e 80% em 7 meses), o material do aterro compactado no ramo seco (média de 1% abaixo da umidade ótima) e solo com índice de plasticidade inferior a 15%	Primeiro enchimento (parcial)

BTZ – Barragem de terra zoneada

BTH – Barragem de terra homogênea

BAP – Barragem de alvenaria de pedra

3 – METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO PARA BARRAGENS

Baptista (2009) apresenta algumas definições atuais do vocabulário *risco*, no entanto, conclui que há um consenso, quase generalizado atualmente, de que risco é o produto da probabilidade de ruptura pelas respectivas consequências, ou de outro modo, uma quantificação matemática que deverá traduzir, em determinado instante, o conhecimento e estado da barragem, a expectativa de seu desempenho futuro e as consequências de uma eventual ruptura.

Segundo Salmon e Hartford (1995), uma avaliação de risco recorre a três perguntas fundamentais:

- a) Que pode dar errado? (Ameaça);
- b) Quanto isso é provável? (Probabilidade de ruína);
- c) Que danos isso causará? (Consequência de ruína).

O propósito da avaliação de risco é determinado por muitos aspectos, incluindo tipo, nível e rigor. Cummis (2003) enumera alguns propósitos de estudos de avaliação de risco:

- a) modelar o risco para um portfólio de barragens;
- b) assinalar prioridades para investigações sobre a segurança de barragens;
- c) ajudar na avaliação da segurança de uma barragem existente;
- d) ajudar na decisão sobre o nível de segurança requerido para uma barragem;
- e) avaliar opções de redução de risco;

- f) assinalar prioridades para um programa de ações remediadoras;
- g) auxiliar na decisão sobre os níveis de segurança para barragens em análise;
- h) apoiar as decisões sobre ações preventivas em segurança durante a construção de uma barragem;
- i) formar requisitos de operações e manutenção de barragens;
- j) determinar procedimentos de gerenciamento de situações de emergência;
- k) compor um programa de monitoramento e supervisão;
- l) estabelecer necessidades de garantia de qualidade e treinamento de pessoal.

Segundo Caldeira (2008), avaliações de risco em Portfólio são úteis para melhorar o conhecimento dos riscos relativos associados a um conjunto de obras, barragens, permitindo estabelecer os aspectos a incluir em um programa de segurança de barragens e as prioridades de investigações complementares e de aplicação de medidas de redução do risco. Este tipo de análise procura determinar onde se pode atingir a máxima utilidade na redução do risco associado às obras incluídas no Portfólio, em face do montante limitado de investimento.

Os índices de risco constituem, atualmente, no domínio das barragens, os métodos de maior aplicação no âmbito das análises de risco. De uma maneira geral, estes índices visam a classificação da barragem (e do seu risco), tendo por base, na maioria dos casos, fontes de perigo, vulnerabilidades e consequências. As consequências que tradicionalmente se inserem nas preocupações deste tipo de método se reportam, essencialmente, ao vale a jusante potencialmente inundado em situação de cheia, resultante da ruptura da barragem (Baptista, 2009).

Os índices de risco (e os índices parciais que os compõe) constituem valores numéricos obtidos com base em regras de agregação aplicadas a descritores previamente definidos e classificados. Os descritores incidem, de uma maneira geral, sobre fontes de perigo, condicionantes ambientais, condições de vulnerabilidade, confiabilidade dos subsistemas principais e consequências no vale a jusante (Caldeira, 2008).

O desenvolvimento de índices tem sido impulsionado pela necessidade de transmitir, de forma simples e objetiva, informação que possa ser incorporada em um processo de apoio à decisão (Ott, 1979). Os índices são normalmente descritos como instrumentos capazes de agregar uma grande quantidade de dados.

Em termos práticos, o cálculo de um índice de risco consiste:

- Na definição do objetivo do índice;
- Na seleção de descritores que sejam os mais representativos de determinadas características da barragem ou do vale a jusante (descritores);
- Na atribuição de pesos a cada descritor segundo um sistema de quantificação da respectiva importância;
- Na normatização dos indicadores em uma escala comum (estes geralmente são expressos em unidades ou escalas distintas);
- Na agregação dos indicadores, visando uma medida (ou um valor simples do impacto);
- Na validação do índice.

A Comissão Internacional de Grandes Barragens é responsável pela divulgação de um destes índices, o índice global de risco (CIGB, 1982), cuja utilização é contemplada nas Normas de Observação e Inspeção de Barragens Portuguesas (SRB, 1993). Este índice, desenvolvido inicialmente como elemento de apoio à definição e exploração dos sistemas de observação de barragens, foi, posteriormente, utilizado no âmbito de avaliações preliminares de risco (Baptista, 2009).

3.1 – Índice Global de Risco

O boletim 41 da CIGB (CIGB, 1982) traz uma proposta de cálculo das condições de risco para apoio à definição do sistema de observação e sua exploração. Na proposta a avaliação das condições de risco é efetuada, de forma simplificada, atribuindo valores a um conjunto de descritores (α_i) agrupados em três classes, associadas a fatores exteriores ou ambientais (E), à confiabilidade da obra (F) e a fatores humanos e econômicos afins à sua ruptura (R).

Índice parcial relativo a fatores externos ou ambientais (E)

$$E = \frac{1}{5} \sum_1^5 \alpha_i \quad (1)$$

Índice parcial relativo à confiabilidade da obra (F)

$$F = \frac{1}{4} \sum_6^9 \alpha_i \quad (2)$$

Índice parcial relativo a fatores humanos e econômicos (R)

$$R = \frac{1}{2} \sum_{10}^{11} \alpha_i \quad (3)$$

A classificação dos descritores é feita utilizando uma escala qualitativa, que pode assumir valores entre 1 e 6, de acordo com algumas regras previamente definidas e tendo em conta a análise da informação específica afim da obra em questão.

O índice global de risco, α_g , é determinado pelo produto dos três índices parciais:

$$\alpha_g = E * F * R \quad (4)$$

As Normas de Observação e Inspeção de Barragens (NOIB) (SRB, 1993) utilizam esta proposta, de cálculo das condições de risco, para apoio à definição do sistema de observação e sua exploração e prevêem, também, a utilização do índice global de risco e dos índices parciais para o estabelecimento de prioridades de inspeção de barragens (existentes à data de publicação das normas) com vistas à sua adequação ao Regulamento de Segurança de Barragens (RSB). Neste enquadramento foram definidas três classes de barragens:

- classe A, barragens que têm pelo menos um descritor com classificação 6;
- classe B, barragens que têm o índice global de risco, α_g , superior a 20 e o índice parcial R maior ou igual a 3;
- classe C, as barragens restantes;

A ordenação das barragens dentro de cada uma das classes atende às seguintes regras:

- na classe A, o número de descritores com classificação 6, devendo em caso de empate, considerar, sucessivamente, o valor de α_g , o valor de R e o valor de α_i (que se refere à sismicidade);
- nas classes B e C, o valor de α_g , o valor de R e o valor de α_i .

Caldeira e Silva Gomes (2006) introduziram modificações ao índice global de risco que deram origem ao índice global de risco modificado (Quadro 4). Estas modificações visaram contribuir para uma harmonização na classificação dos descritores bem como para eliminar classificações divergentes.

Na sequência, Baptista (2009) identifica algumas diferenças entre o índice global de risco inicial e o modificado:

- a) O descritor α_1 passa a ter apenas duas classificações possíveis, 2 e 3, 2 para acelerações máximas entre 0,05g e 0,10g e 3 para acelerações máximas entre 0,10g e 0,20g;
- b) Os descritores α_2 , α_3 , α_6 e α_9 passam a poder assumir todas as classificações entre 1 e 6 e o descritor α_4 entre 1 e 5;
- c) O conteúdo do descritor α_4 é alterado, passando a caracterizar, especificamente, a velocidade de variação do nível da água do reservatório, tendo em conta as características de permeabilidade dos materiais constituintes dos maciços estabilizadores de montante das barragens de aterro com órgãos de estanqueidade no seu interior;
- d) Os descritores α_2 e α_4 passam a ter classificações em função do tipo de barragem;
- e) Os descritores α_5 e α_{11} , passam a poder assumir classificação 6, que as NOIB atribuem a condições anormais, implicando intervenção técnica indispensável.

A classificação 6 do descritor α_{11} reporta a existência de grandes aglomerados populacionais ou vias de comunicação importantes no vale potencialmente inundável, próximo a barragem (menos de 5 km, no caso de barragens de aterro e menos de 10 km, no caso de barragens de concreto e alvenaria).

Quadro 4 – Regras gerais de classificação para cálculo do índice global de risco modificado (INAG, 2001).

	CLASSE ASSOCIADA A FATORES EXTERIORES OU AMBIENTAIS								CLASSE ASSOCIADA A CONFIABILIDADE DA OBRA				CLASSE ASSOCIADA A FATORES HUMANOS E ECONÔMICOS	
	Sismicidade	Escorregamento de taludes	Cheias superiores à do projeto	Gestão do reservatório	Ações agressivas	Dimensio-namento estrutural	Fundação	Órgãos de descarga	Manutenção	Volume do reservatório (m³)	Instalações a jusante			
Valor	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}			
1	Muito baixa	Mínima ou nula	Baixa (barragens de concreto e alvenaria)	Muito boa	Mínimas	Adequado	Muito boa	Elevada confiabilidade	Muito boa	<10 ⁶	Muito reduzida			
2	Muito baixa 0,5g< α <0,1g	Baixa (barragens de concreto e alvenaria)	Baixa (barragens de concreto e alvenaria)	Boa (barragens de concreto e alvenaria)	Fracas	Adequado sob o ponto de vista estático	Boa	Média confiabilidade	Boa	10 ⁶ – 10 ⁷	Pequena			
3	Baixa 0,1g< α <0,2g	Baixa (barragens de concreto e alvenaria)	Média (barragens de concreto e alvenaria)	Média (barragens de concreto e alvenaria)	Médias	Satisfatório	Satisfatória	Baixa confiabilidade	Satisfatória	10 ⁷ – 10 ⁸	Média			
4		Média (barragens de concreto e alvenaria)	Média (barragens de aterro)	Acetilável (barragens de concreto e alvenaria)	Fortes	Acetilável	Acetilável	Reduzida confiabilidade	Acetilável	10 ⁸ – 10 ⁹	Grande			
5		Média (barragens de aterro)	Grande	Mediocre (barragens de aterro)	Muito fortes	Mediocre	Mediocre	Não confiáveis	Mediocre	10 ⁹	Elevada			
6		Elevada	Elevada		Associadas a danos estruturais	Inadequado	Inaceitável	Inexistentes ou inoperacionais	Inaceitável		Muito elevada			

3.1.1 – Exemplo de aplicação

O método do índice global de risco modificado foi aplicado à barragem Cocorobó, construída pelo DNOCS, com a finalidade de irrigação das terras de jusante, onde se destaca o projeto irrigado de Vaza Barris com 460 ha, controle das cheias, piscicultura, aproveitamento das áreas de montante e abastecimento d'água da vila. As características técnicas da barragem encontram-se descritas no Quadro 5.

Quadro 5 – Características técnicas da barragem Cocorobó.

Tipo	Terra homogênea
Altura máxima (com fundação)	33,5 m
Extensão da barragem principal	643 m
Largura da barragem principal	7 m
Capacidade	245 375 950 m ³
Vertedouro	Lâmina livre em arco
Tomada d'água	Galeria dupla
Ano de conclusão	1967
Coordenadas	9°52'54,6'' lat. Sul/ 39°02'21,4'' long. Oeste

O maciço da barragem, como mencionado no Quadro 3, sofreu um escorregamento ao final da construção e após a reconstrução desta parte, foram instalados 24 piezômetros, três medidores de nível d'água e marcos para a observação de recalque e deslocamentos horizontais. As observações feitas indicaram o aparecimento de trincas no talude da barragem e pressões piezométricas consideradas elevadas. Entretanto, após um período de observação e diversas análises, o comportamento da barragem foi considerado aceitável.

O resultado da aplicação do índice global de risco a esta barragem encontra-se no Quadro 6.

Quadro 6 – Aplicação do método do índice global modificado à barragem Cocorobó.

FATORES EXTERIORES OU AMBIENTAIS

	Classificação	Valor	Comentário/ Justificativa
Sismicidade (período de retorno)	Probabilidade muito baixa	2	Boletim sísmico brasileiro IAG-USP
Escorregamento de taludes (probabilidade)	Mínima	1	Não possui taludes íngremes no entorno do reservatório
Cheias superiores a do projeto (probabilidade)	Probabilidade grande	5	Sem informação
Gestão da albufeira (reservatório)	Muito boa	1	Exploração sem esvaziamento ou enchimento brusco
Ações agressivas (clima, água, etc.)	Muito fortes	5	Formação de ravinas, sulcos profundos no talude de jusante

$$E = 2,8$$

Quadro 6 (Cont.) – Aplicação do método do índice global modificado à barragem Cocorobó.

CONFIABILIDADE DA OBRA

	Classificação	Valor	Comentário
Dimensionamento estrutural	Adequado	2	A barragem exibe comportamento estrutural satisfatório
Fundações	Trincheira de vedação sobre xisto medianamente alterado	5	Surgência no encontro da ombreira à cota 343m (pouco abaixo da 1ª berma)
Órgãos de descarga	Soleira livre com canal revestido	3	Trincas na soleira e vegetação de médio porte no canal de restituição
Manutenção	Aceitável	4	Vegetação de médio porte nos taludes, entupimento das canaletas

F = 3,5

FATORES HUMANOS E ECONÔMICOS

Volume da albufeira (m³)	245 380 000	2	
Instalações à jusante	Elevada	4	Há um aglomerado urbano a cerca de 5km a jusante da barragem

R = 3

IG = 29,4

Classe B

IG maior que 20 e R igual a 3

3.2 – Método da resolução CNRH n° 143

No Brasil a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei N° 12 334/2010, objetiva garantir a observância de padrões de segurança das barragens, através da fiscalização do poder público sobre os empreendedores, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas conseqüências, em especial, à população potencialmente afetada. Basicamente a PNSB define: as características das barragens que se enquadram na nova política, os instrumentos de controle e monitoramento, a competência dos fiscalizadores, e as responsabilidades do empreendedor da barragem.

O processo de regulamentação da Lei inclui ainda algumas resoluções complementares:

- a) Resolução ANA n° 742, de 17 de outubro de 2011
Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das Inspeções Regulares de Segurança de Barragem, conforme art. 9° da Lei n° 12 334 de 20 de setembro de 2010.
- b) Resolução ANA n° 91, de 2 de abril de 2012
Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem.
- c) Resolução CNRH n° 143, de 10 de julho de 2012
Estabelece critérios gerais de Classificação de Barragens por Categoria de Risco, Dano Potencial Associado e pelo volume do reservatório.

d) Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012

Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

No Brasil as barragens serão classificadas pelos órgãos fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos na Resolução CNRH nº 143, esta constitui, portanto a base para a análise de segurança da barragem e para fixar níveis apropriados de monitoramento, inspeção e planos de segurança.

Os critérios avaliados são divididos em quatro grupos: características técnicas, estado de conservação, plano de segurança e dano potencial. A cada um dos critérios, também chamados, no âmbito da avaliação de risco, de descritores, são atribuídos valores constantes nos Quadros 7 a 10.

No total o método utiliza 21 descritores, cujos valores são somados para a definição da classe de risco e da classe de dano.

$$classe\ de\ risco = \sum_{1}^{6} CT + \sum_{7}^{12} EC + \sum_{13}^{17} PS \quad (5)$$

$$classe\ de\ dano = \sum_{19}^{21} DPA \quad (6)$$

Quadro 7 – Regras gerais para classificação das características técnicas (Resolução 143 CNRH).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
H ≤ 15m (0)	L ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < H < 30m (1)	L > 200m (3)	Alvenaria de pedra/concreto ciclópico/concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m ≤ H ≤ 60m (2)		Terra homogênea /enrocamento/terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento /rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
H > 60m (3)			Rocha alterada mole/saprolito /solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)
			Solo residual/ aluvião (5)		

Quadro 8 – Regras gerais para classificação do estado de conservação (Resolução 143 CNRH).

ESTADO DE CONSERVAÇÃO					
Confiabilidade das estruturas extravasoras (g)	Confiabilidade das estruturas de adução (h)	Percolação (i)	Deformações e recalques (j)	Deterioração dos taludes/paramentos (k)	Eclusa (l)
Estruturas e eletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos eletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas e eletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implementação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e eletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas comprometidas ou dispositivos eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento. (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)		Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos eletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

Quadro 9 – Regras gerais para classificação do plano de segurança (Resolução 143 CNRH).

PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM				
Existência de documentação de projeto (m)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem (n)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e monitoramento (o)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (p)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (q)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico ou parte do projeto executivo/ "como construído" (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)		Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)		Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)		
Inexiste documentação de projeto (8)				

Quadro 10 – Regras gerais para classificação do dano potencial associado (Resolução 143 CNRH).

DANO POTENCIAL ASSOCIADO			
Volume total do reservatório (r)	Potencial de perda de vidas humanas (s)	Impacto ambiental (t)	Impacto sócio econômico (u)
Pequeno ≤ 5 milhões m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)		ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito grande > 200 milhões m ³ (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)		

A partir dos valores resultantes destes somatórios classifica-se a barragem quanto à sua categoria de risco e dano potencial associado, Quadros 11 e 12.

Quadro 11 – Matriz categoria de risco.

Categoria de Risco	CRI
Alto	≥60 ou EC*≥8
Médio	35 a 60
Baixo	≤ 35

(*) Pontuação ≥8 em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

Quadro 12 – Matriz de dano potencial associado.

Dano Potencial Associado	DPA
Alto	≥ 16
Médio	10 a 16
Baixo	≤ 10

O resultado combinado dos Quadros 11 e 12 é traduzido na matriz de classificação, apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 – Matriz de categoria de risco e dano potencial associado.

Classe da Barragem		Classe de dano potencial associado		
		Alto	Médio	Baixo
Classe de Risco	Alto	A	B	C
	Médio	A	C	D
	Baixo	A	C	E

A matriz de classificação (Quadro 13) é, na verdade, uma matriz de risco (probabilidade *versus* consequências), pois os descritores que definem classe de risco referem a quantificação, da probabilidade de ocorrência de um colapso estrutural, baseado nas características técnicas, estado de conservação da barragem e procedimentos de segurança adotados, enquanto os danos são as consequências de uma eventual ruptura.

O Quadro 14 apresenta a aplicação do método à barragem Cocorobó.

Quadro 14 – Resultado da aplicação do método da Resolução 143 a barragem Cocorobó.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

	Classificação	Fonte	Valor	Comentário
Altura (m)	33,5	DNOCS	2	Altura máxima acima do TN (28,85m relativamente ao talvegue)
Comprimento (m)	1320	DNOCS	3	Barragem principal - 643m, barragem auxiliar - 677m
Tipo de barragem	Terra homogênea	DNOCS	3	
Tipo de fundação	Trincheira de vedação	DNOCS	3	Fundação xisto medianamente a pouco alterado, no leito do rio o mesmo é recoberto por um pacote aluvionar
Idade (anos)	46	DNOCS	1	Concluída em 1967
Vazão de projeto (anos)	Sem informação	DNOCS	10	Vertedouro está dimensionado para uma descarga de 1824 m ³ /s

CT 22

ESTADO DE CONSERVAÇÃO

	Classificação	Fonte	Valor	Comentário
Confiabilidade das estruturas extravazadoras	Soleira livre com canal revestido	DNOCS	7	Trinças na soleira e vegetação de médio porte no canal de restituição
Confiabilidade das estruturas de adução	Torre de comando, comportas planas e galeria tubular revestida em concreto armado	DNOCS	0	O sistema hidromecânico de controle de vazão da barragem foi recuperado em 2008
Percolação	Surgência no encontro da ombreira à cota 343m (pouco abaixo da 1ª berma)	DNOCS	5	No local da surgência têm ocorrido abatimentos
Deformações e recalques	Abatimentos no alinhamento da surgência de diâmetro 1,5m no rip-rap, 5m abaixo da crista, preenchido com material	DNOCS	8	Ondulações na crista devido ao tráfego
Deterioração dos taludes	Vegetação de médio porte nos taludes, formação de ravinas com sulcos profundos no talude de jusante	DNOCS	7	Entupimento das canaletas das bermas
Eclusa	Não existe	DNOCS	0	

EC 27

Quadro 14 (Cont.) – Resultado da aplicação do método da Resolução 143 a barragem Cocorobó.

PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

	Classificação	Fonte	Valor	Comentário
Documentação de projeto	Projeto como construído	DNOCS	2	
Estrutura organizacional	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem	DNOCS	0	Portaria 312 DG / CRH 25/07/2013
Procedimentos segurança	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	DNOCS	3	Instrumentação defeituosa e desativada há muitos anos
Regra operacional dos dispositivos de descarga	Soleira livre	DNOCS	0	
Relatórios de inspeção e segurança	Emitte regularmente os relatórios	DNOCS	0	

PS 5

DANO POTENCIAL ASSOCIADO

	Classificação	Fonte	Valor	Comentário
Volume (hm³)	245,38	DNOCS	5	Sem barragens em cascata (considerando só as barragens reguladas pela ANA)
Potencial perda de vidas	existente	ANA	12	Casas muito dispersas, 2 urbanizações, 1 rodovia (BR 235) 4 transversais locais, 1 instalação de lazer
Impacto ambiental	significativo	ANA	3	
Impacto sócio-econômico	alto	ANA	8	Há um aglomerado urbano cerca de 5 km a jusante da barragem

DPA 28

CLASSIFICAÇÃO CNRH

Categoria de risco	Alto	EC ≥ 8	54	Classe da Barragem A
Dano potencial associado	Alto	DPA ≥ 16	28	

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo descreve dois métodos simplificados de análise de risco, o do índice global de risco e o da legislação brasileira, Resolução 143 do CNRH. A utilização destes métodos constituem meios de apoio à tomada de decisões no que se refere a medidas estruturais ou não estruturais de controle de riscos. Quando aplicados a um portfólio de barragens permitem sua hierarquização e definição de prioridades de intervenção.

Os métodos baseados em índices podem diferir bastante uns dos outros, não se encontrando, na bibliografia especializada, tentativas de uniformizar os índices divulgados. Os resultados obtidos, pela aplicação prática destes dois métodos a uma barragem de terra, permitiram realçar que estes métodos, de simples aplicação, se relacionam diretamente com o tipo de barragem em questão e com as condições locais e ambientais em que as obras se inserem. Salienta-se, por exemplo, o caso da sismicidade, a qual determina a possibilidade de liquefação, cuja relevância é particular em alguns países, em face às condicionantes geomorfológicas.

Em cada caso a seleção dos descritores, é influenciada pelos modos potenciais de ruptura considerados, por exemplo, o método do índice global de risco considera a probabilidade de ocorrência do movimento de grandes massas, induzido pela instabilização de encostas do reservatório, considera também a ocorrência de instabilizações causadas pelo esvaziamento rápido do reservatório. Por outro lado, não leva em consideração explicitamente os danos ambientais, hoje reconhecidos como um fator crítico.

No que se refere ao método da resolução brasileira, este possui um maior número de descritores, e requer um nível maior de informação sobre algumas características técnicas da barragem, como é o caso da vazão de projeto e da existência de documentação de projeto. Este grau de detalhamento da informação assume especial dificuldade no caso de barragens muito antigas cuja informação é indisponível. Outro aspecto observado é o da adoção de descritores muito particulares, como é o caso das eclusas. A consideração das atividades ligadas à segurança também é bastante detalhada, considerando a estrutura organizacional e qualificação técnica, roteiros de inspeção, monitoramento, relatórios e regras operacionais. Uma análise mais profunda dos descritores adotados poderia identificar superposições de informações, como por exemplo, se a barragem não dispõe de informações de projeto, é improvável que disponha de informação sobre a vazão de projeto.

Ainda sobre a legislação brasileira, uma lacuna a ser preenchida trata da inexistência de terminologia para alguns conceitos fundamentais, cujos vocábulos podem assumir significados diversos e imprecisos.

Finalmente, o que se pode concluir através do que foi apresentado neste artigo, é que as avaliações de risco por índices, são indicadas para conseguir uma hierarquização inicial, em barragens que constam em um mesmo portfólio, seja de um mesmo proprietário, dentro de um mesmo curso d'água, bacia hidrográfica ou estudo. São ferramentas úteis para nortear a ordem das barragens que necessitam de estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Para situações onde se pretende estudar uma barragem em particular existem métodos mais apropriados, detalhadamente descritos em Baptista (2009).

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2012). *Relatório de Segurança de Barragens 2011*. Brasília-DF.
- Araújo, J.A.A. (coord.) (1990). *Barragens no Nordeste do Brasil: experiência do DNOCS em barragens na região Semi-Árida*. Fortaleza, DNOCS, 328p.
- Baptista, M.L.P. (2009). *Abordagens de riscos em barragens de aterro*. Tese LNEC. Lisboa, Portugal.
- Caldeira, L. (2008). *Análise de Risco em Geotecnia. Aplicação a Barragens de Aterro*. Programa de Investigação para obtenção de Habilitação para funções de Coordenação Científica, LNEC, Lisboa, 238 p.
- Caldeira, L.; Silva Gomes, A. (2006). *Portfolio Safety Assessment of Portuguese Fill Dams*. Proc. 22nd International Congress on Large Dams, Question 86, volume III, pp 271-290, Barcelona.
- CIGB (1982). *Automated observation for the safety control of dams*. Boletim 41.
- CNRH (2012). Resolução nº 143/2012. Seção 1 do D.O.U de 4 de setembro de 2012.
- Cummis, P. (2003). *Guidelines on risk assessment*. ISBN: 0 731 027 620, Sydney, Austrália: Ed. Australian National Committee on Large Dams Inc. ANCOLD, 156 p.
- INAG (Instituto da Água) (2001). *Elementos de base para realização dos estudos do “Plano especial de inspeção 2001”*, Lisboa, Portugal.
- Menescal, R.A. (2009). *Gestão da segurança de barragens no Brasil - Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo*. Tese. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza.
- Miranda, A.N.; Malveira, V.T.C.; Jardim, W.F. (2011). *Correção de trincas transversais na barragem Piaus*. XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Rio de Janeiro, Brasil.
- Miranda, A.N. (2011). *Notas de aula sobre segurança de barragens*. Capacitação de profissionais integrantes dos órgãos gestores de recursos hídricos do estado do Ceará para o PISF. ANA. Brasília-DF.
- Ott, W. (1979). *Environmental indices – theory and practice*. Ann Arbor Science Publishers, Michigan, USA.
- Salmon, G.M.; Hartford, D.N.D. (1995). *Risk Analysis for Dam Safety*. International Water Power & Dam Construction, March, pp. 42-47.
- SRB - Subcomissão dos Regulamentos de Barragens (1990). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Decreto-Lei Nº 11/90. Portugal.
- SRB - Subcomissão dos Regulamentos de Barragens. (1993). *Normas de observação e inspeção de barragens*. Portaria 847/93, Portugal.
- Zuffo, M.S.R. (2005). *Metodologia para a Avaliação de Segurança de Barragens*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação, Mestrado, 291 p.