

# Modelo de previsão de branqueamento de corais a partir de dados de sensoriamento remoto, análise e reanálise

Lilian Anne Krug<sup>1</sup>

Douglas Francisco Marcolino Gherardi<sup>1</sup>

José Luiz Stech<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Av dos Astronautas, 1758. Jardim da Granja.

São José dos Campos - SP, Brasil CEP 12245-970

{licakrug, douglas, stech}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The reef ecosystem depends on healthy zooxanthellae, symbiotic microalgae that live in coral tissues. Under stressful conditions, the host corals expel the zooxanthellae in a phenomenon called bleaching. The stress can be induced by environmental changes and results in severe impacts on coral metabolism, sometimes leading to death. The present study aims to connecting atmospheric and oceanographic data obtained from remote sensing, analysis and reanalysis, with bleaching events along the Bahia State coast and to model this relation using Bayesian networks (BN). The environmental variables are rain precipitation, diffuse attenuation coefficient at 490 nm ( $K_{490}$ ), wind fields at sea surface and maximum sea surface temperature. The constructed BN connected bleaching events to thermal variables, resultant wind intensity and *El Niño* Southern Oscillation (ENSO) event. The BN indicates that temporal persistence of high SST values is the most influent variable on the bleaching intensity and present a predictive rate of 83%, being capable of satisfactorily learn the bleaching conditions from data. The results from this work improve our understanding of this ecological system and present a framework from which coral bleaching can be predicted using environmental data. This has positive implications on the management, monitoring and conservation of the Brazilian reef environments.

**Palavras-chave:** coral bleaching, Bahia coral reefs, Bayesian networks, branqueamento de coral, recifes de coral da Bahia, redes Bayesianas.

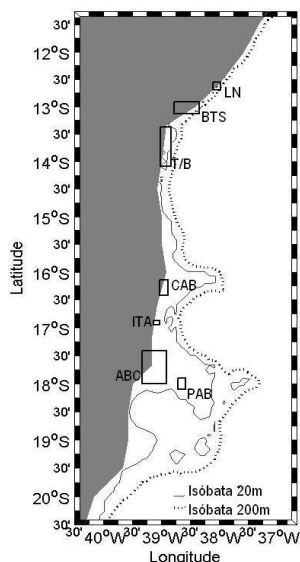
## 1. Introdução

O Estado da Bahia detém a maior concentração de recifes de corais do Oceano Atlântico Sul. Os recifes de corais, embora representem menos de 0,015% de toda a área dos oceanos, abrigam 25% da biodiversidade marinha (IYOR, 2008). O estresse gerado, especialmente pelo aumento da temperatura da água e da incidência de radiação solar, induz o branqueamento dos corais e acarreta em sérios problemas para toda a cadeia trófica. Entretanto, as condições do ambiente podem maximizar ou minimizar o estresse sobre os organismos coralíneos. De acordo com Brown (1997), um ambiente propício ao branqueamento reúne condições de céu limpo (sem nuvens), ventos de baixa intensidade, mar calmo e de baixa turbidez, o que suscita o aumento na temperatura e incidência solar. Anomalias positivas de TSM não são condições suficientes para disparar o processo de branqueamento. As interações entre variáveis ambientais e destas com o coral possuem um caráter complexo e, portanto, são relações difíceis de serem modeladas. Um modelo adequado deve resolver as relações entre essa variabilidade e nas diferentes escalas espaço-temporais em que estas ocorrem e também deve ser capaz de incorporar evidências observadas além das incertezas inerentes às medidas realizadas nos sistemas. Modelos que traduzam estas relações podem ser utilizados para alertar quando a probabilidade de ocorrência de branqueamento, em resposta às condições ambientais se tornarem críticas. O objetivo deste trabalho é construir um modelo de previsão de branqueamento dos corais do Estado da Bahia através da técnica de Redes Bayesianas que evidenciam relações entre variáveis ambientais e o branqueamento, trabalhando com a probabilidade condicional entre elas.

## 2. Metodologia de Trabalho

Delimitaram-se sete áreas que correspondem à ocorrência de construções recifais do Estado da Bahia (Figura 1): 1) Litoral Norte (LN), 2) desembocadura da Baía de Todos os Santos

(BTS), 3) Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu (T/B), 4) Cabrália (CAB), 5) Recifes de Itacolomis (ITA), 6) Arco Costeiro dos Abrolhos (ABC), e 7) Parcel e Arquipélago dos Abrolhos (PAB) (Leão et al., 2003). Como os eventos de branqueamento foram registrados predominantemente no período de verão, as análises descritas no presente trabalho se restringiram aos meses de fevereiro a abril.



Área	(km <sup>2</sup> )	Superior esquerdo	Inferior direito
LN	236	Lat.: 12.5546 S Lon.: 38.1065 W	Lat.: 12.6907 S Lon.: 37.9721 W
BTS	1200	Lat.: 12.9198 S Lon.: 38.7799 W	Lat.: 13.1276 S Lon.: 38.3450 W
T/B	1190	Lat.: 13.3692 S Lon.: 39.0184 W	Lat.: 14.0943 S Lon.: 38.8359 W
CAB	438	Lat.: 16.1449 S Lon.: 39.0256 W	Lat.: 16.4198 S Lon.: 38.8766 W
ITA	94	Lat.: 16.8725 S Lon.: 39.1274 W	Lat.: 16.9517 S Lon.: 39.0311 W
ABC	2813	Lat.: 17.4171 S Lon.: 39.3317 W	Lat.: 18.0041 S Lon.: 38.6759 W
PAB	330	Lat.: 17.9041 S Lon.: 38.7170 W	Lat.: 18.0957 S Lon.: 38.5740 W

Figura 1 – Limites e dimensões das áreas de recifes de corais do Estado da Bahia.

Uma série de 13 anos (1993 a 2005) de dados de sensoriamento remoto, análise e reanálise foi utilizada para caracterizar o ambiente de branqueamento. Campos diários e médias de 5 dias (pêntadas) de verão de TSM, com resolução espacial de 4 km foram obtidos das imagens de *Best Sea Surface Temperature* (BSST). A BSST é obtida pelo *Advanced Very-High Resolution Radiometer* (AVHRR) da NOAA (<http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/>). Sabe-se hoje que a TSM é o fator mais importante no processo de branqueamento dos corais e, por isso, foram construídas duas variáveis relativas ao estresse termal derivadas da TSM. Uma indica o valor máximo que atingiu a TSM em uma determinada área (MaxTSM) e a outra diz respeito à persistência de altas temperaturas por um período de cinco dias consecutivos (TSMac5d). O coeficiente de atenuação da luz em 490 nm na coluna d'água ( $K_{490}$ ) é um indicativo da turbidez, pois calcula o quanto a luz da região visível do espectro eletromagnético é atenuada quando penetra na camada d'água. O *Goddard Space Flight Center* (GSFC) disponibiliza  $K_{490}$  do *Sea-viewing Wide Field of View Sensor* (SeaWiFS). Com uma resolução espacial de 9 km, foram utilizadas imagens  $K_{490}$  de nível três, versão *mapped*, composição de oito dias para os verões de 1998 a 2005, disponíveis em <ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/Mapped/8Day/K490/>.

Em relação a precipitação, foram adquiridas as composições de cinco dias para os verões de 1993 a 2005 da versão *Enhanced* das análises *Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) do *Climate Prediction Center* (CPC). A série está disponível no endereço do CPC em <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.cmap.html> e possui resolução espacial de 2,5°. Foram obtidas médias diárias de vento a 10 m da superfície do mar em suas componentes zonal (U) e meridional (V) para os meses de verão de 1993 a 2005 do projeto de reanálises do *National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR). Os dados possuem resolução espacial de 1,875° e estão disponíveis no endereço do *Climate Diagnostics Center* em <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.gaussian.html>. A magnitude da velocidade do vento resultante (|W|) para o mesmo período foi construída a partir da soma

vetorial das suas componentes. Para cada variável (MaxTSM, TSMac5d, K<sub>490</sub>, PPT, |W|, (U) e (V)) foram obtidos dois tipos de dados: mapas das médias (máximas no caso das variáveis derivadas da TSM) de cada verão da série de tempo para toda a costa da Bahia e valores médios (máximos no caso das variáveis termais) referentes ao mês e área de cada ocorrência do evento. Os indicadores da amplitude de variação de verão foram extraídos das Primeiras Componentes Principais (1<sup>a</sup>CP), construídas a partir dos mapas de verão de cada variável, exceto para TSMAC5d (Krug et al., 2008).

Os índices Multivariado do ENOS (*Multivariate ENOS Index* – MEI), Oceânico do *El Niño* (*Oceanic Nino Index* – ONI) e de Oscilação Sul (*Southern Oscillation Index* – SOI) foram utilizados para indicar a influência do *El Niño* Oscilação Sul no branqueamento. Para estes índices foram considerados os valores no mês de ocorrência do branqueamento e oito meses antes (sete meses para o MEI), pois, de acordo com Soppa (2007), a maior correlação entre os índices e a TSM na costa da Bahia dá-se nesta defasagem de tempo.

Obtidos na literatura (Castro e Pires, 1999; CEPEMAR, 2005; Leão et al., 2008), os 17 registros de branqueamento tiveram esforço amostral comparável e todos os resultados foram dados em percentagem de superfície branqueada ao longo de transectos. Os dados foram organizados por mês de registro, área de ocorrência e intensidade de branqueamento. As intensidades foram divididas em ausente, fraca e forte. Seis registros foram considerados de intensidade forte, com o total de colônias branqueadas acima de 20%. Dez casos apresentaram percentagens abaixo deste valor, denominados de eventos fracos. Houve um único relato de ausência de branqueamento, na área de Cabralia (CAB), em março de 2004. Foram registrados cinco casos nas áreas ABC e PAB, três casos em T/B e um caso nas áreas LN, CAB, ITA e BTS.

Os modelos de probabilidades Redes Bayesianas (RB) trabalham com a relação direta e indireta entre causas e efeitos, baseando-se no teorema de Bayes (Neapolitan, 2004). Uma RB é um grafo acíclico orientado constituído por um conjunto de nós, arcos e tabelas de probabilidades condicionais (TPC). Cada nó representa uma variável e cada arco entre nós representa a dependência probabilística entre os nós conectados. Os arcos são direcionados do nó pai ao nó filho, indicando qual nó influencia (pai) e qual é influenciado (filho). Associado a cada nó há uma TPC que quantifica quanto que um nó depende de seus pais (Cheng et al., 2002).

O programa *Belief Network Power Constructor* (BNPC) (Cheng, 2001) utiliza algoritmos baseados em análises das dependências entre as variáveis para a construção da estrutura da RB. Por meio de medições de fluxo de informação, o programa inclui arcos entre dois nós caso seja verificada a dependência direta entre os mesmos. As RB testadas tiveram como ponto de partida uma tabela com os 17 casos de branqueamento (linhas) e nas colunas, os valores mensais e a média dos autovetores das 1<sup>a</sup>CP nas áreas onde foram registrados os casos, os valores dos índices de ENOS com e sem a defasagem e a intensidade do branqueamento registrado, num total de 19 variáveis. Devido a exigências dos programas, os dados de cada variável foram transformados em valores discretos classificados por frequência. Estas classes foram utilizadas também na elaboração dos estados dos nós das RBs. Primeiramente, obteve-se do programa uma estrutura que o próprio algoritmo construiu com todos os nós disponíveis, sem inserir nenhuma informação, de modo a observar as relações baseando-se apenas no fluxo de informação. Posteriormente, refinou-se a estrutura mantendo nós nos quais foram notadas maiores influências no nó de interesse (*Branqueamento*) e eliminando nós distantes (com pouca influência), além de inseridas informações a respeito das relações entre variáveis. O processo foi realizado manualmente, gerando ao final, quatro estruturas de RB candidatas, com todas as orientações necessárias para a construção das dependências. Estas foram posteriormente testadas para selecionar uma única RB final.

A próxima etapa foi a obtenção das probabilidades associada a cada nó, a qual especifica a probabilidade de um nó filho estar em um estado particular, dados os estados de seus nós pais. Essa etapa foi realizada no Netica (NORSYS, 2006), o qual baseia-se na experiência informada a partir de uma tabela onde as colunas são os nós da RB e as linhas os casos. Os casos contêm os estados em que as variáveis estavam no período do branqueamento e os estados são as classes formadas pelo BNPC na etapa anterior à estruturação das redes. O *software* aprende as probabilidades e preenche as TPC. O efeito da evidência é propagado por toda a estrutura de dependência da rede e as probabilidades dos diferentes estados nos nós filhos afetados são atualizadas.

Como método de avaliar a acurácia das RB, foram calculadas taxas de acerto. Para cada um dos 17 registros de branqueamento, foram fixados nas RB (isto é, alterado suas probabilidades para 100%) os estados encontrados para os demais nós no mês e área de registro e pesquisado se o estado do nó *Branqueamento* apontado como o mais provável coincidia com a intensidade que ocorreu de fato. As taxas de acerto correspondem à razão entre os casos apontados corretamente e o total de casos registrados naquela intensidade. Dada a reduzida quantia de casos de branqueamento optou-se por não separar casos para a validação, realizando posteriormente, uma validação cruzada do tipo *leave-one-out*. Nesta técnica as amostras são uma a uma reservadas para validação enquanto o restante é usado na construção do modelo. O processo é repetido de modo que permite que todas as observações sejam tratadas como um dado independente. Finalmente, depois de selecionada uma RB, foi realizada uma análise de susceptibilidade sobre os estados do nó *Branqueamento*, a qual identifica quais nós da rede têm maior influência sobre a intensidade do branqueamento nos corais.

### 3. Resultados e Discussão

A partir da construção da primeira estrutura, que continha todas as variáveis, observou-se que a atuação direta dos parâmetros ambientais apresenta-se mais relacionada com o fenômeno do branqueamento que a atuação global do ENOS ou o padrão característico de variação característica de verão do ambiente (1<sup>ª</sup>CPs). O coeficiente de atenuação da luz ( $K_{490}$ ), porém, não apresentou uma relação de causa e efeito com o branqueamento mesmo que indireta. Optou-se, então por eliminá-lo, bem como eliminar os índices de ENSO, mantendo-se apenas o MEI com e sem defasagem. Também foram eliminadas as 1<sup>ª</sup>CP, exceto a 1<sup>ª</sup>CP da MaxTSM, por esta ter uma relação já conhecida com o branqueamento (Woodridge e Done, 2004). Passando, desta forma, a interferir na construção da estrutura adicionando informações de conhecimento do usuário a cerca das relações entre as variáveis e derivar redes candidatas para prever o fenômeno do branqueamento.

As informações adicionadas foram: i) os índices MEI e MEI\_7 não têm nós pais, visto que trata-se de um fenômeno de origem remota e que não pode sofrer influência das demais variáveis locais utilizadas; ii) o branqueamento é um nó filho e não pode influenciar os demais nós da rede, mas pode ser influenciado por qualquer outro; iii) a 1<sup>ª</sup>CPMaxTSM, que representa o ambiente termal prévio, guarda relação com a TSMac5d e da MaxTSM; iv) o vento pode exercer influência sobre a TSMac5d; e v) TSMac5d e MaxTSM exercem alguma influência sobre o branqueamento. Procuraram-se as seguintes características com as redes derivadas: Rede 1) compreender exclusivamente o ambiente termal (Figura 2A); Rede 2) integrar variáveis atmosféricas (vento e precipitação) e do ambiente termal (Figura 3A); Rede 3) incluir, além de variáveis termais, a intensidade do vento (Figura 2B); e Rede 4) substituir a intensidade do vento da Rede 3 pela sua componente meridional (Figura 2C). Com as estruturas das quatro redes e a tabela de dados discretos em estados pelo BNPC foram construídas as (TPC) das redes no Netica (Figuras 2D e 3B).

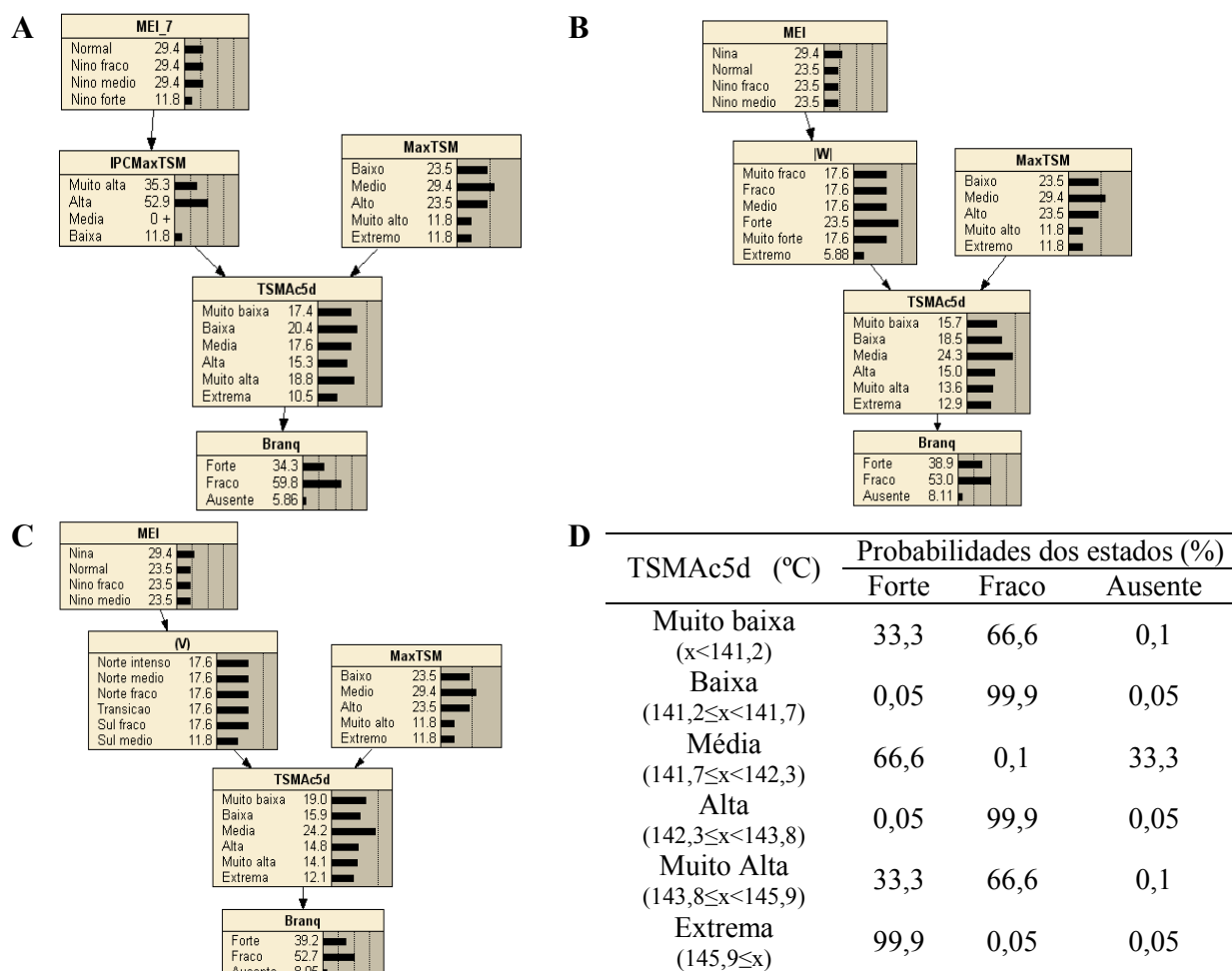


Figura 2- A) Rede Bayesiana 1, B) Rede Bayesiana 3, C) Rede Bayesiana 4 e D) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento em todas as três RB.

Quando desconhecidas as condições dos nós, o branqueamento de intensidade fraca é tido como o mais provável de ocorrer em todas as redes, com probabilidades de 52,7% a 59,8%. Isto porque a maioria dos casos registrados foi desta intensidade (10 de 17). Da mesma forma, só foi registrado um único caso de ausência de branqueamento e, portanto, a probabilidade de não ocorrência de branqueamento para as redes é bastante baixa, menor que 10%. As RB assumem como sendo um evento de ocorrência rara. As TPC do nó *Branqueamento* nas quatro RB fornecem as probabilidades dos estados do nó dado os estados do nó pai (*TSMAC5d* ou *|W|*). Eventos de branqueamento *forte* tendem a ser decorrentes de eventos *extremos* tanto de *TSMAC5d* (RBs 1, 3 e 4) quanto de *|W|* (RB 2). Estas altas probabilidades condicionais (99,9%) ocorrem porque os únicos eventos *extremos* destas variáveis foram observados quando foram registrados os casos de branqueamento forte. O mesmo ocorre com eventos *fortes* de *|W|* (RB 2) e *alto* e *baixo* de *TSMAC5d* (RBs 1, 3 e 4). Estes estados foram observados apenas quando foram registrados branqueamentos de intensidade fraca. Já no único registro de ausência de branqueamento ocorreu uma *TSMAC5d* classificada como média (141,8 °C) e *|W|* classificado como *muito fraco* (2,76 m/s). Isto fez com que a probabilidade condicional de um evento *fraco* de branqueamento aumentasse para 33% quando os nós pais encontram-se nestes estados. Os estados para cada nó e os nomes atribuídos aos estados dizem respeito apenas aos valores observados e não ao fenômeno em si.

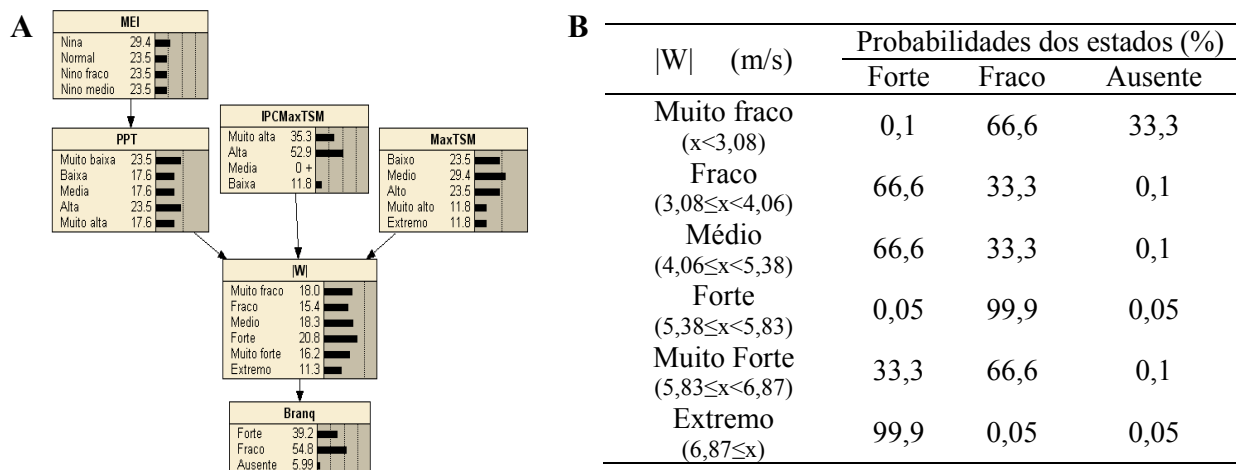


Figura 3 - A) Rede Bayesiana 2 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.

As taxas de acerto mostraram que enquanto a RB 2 acertou 13 (77%) dos 17 casos de branqueamento registrados na Bahia, as RB 1, 3 e 4 apontam corretamente 14 casos (83%). Estas redes, cujo nó pai do *Branqueamento* foi *TSMac5d*, assinalaram corretamente todos os 10 casos registrados de branqueamento de intensidade fraca e 4 dos 6 casos de branqueamento classificados como fortes (67%). Para a RB 2, que reflete a influência direta da intensidade do vento sobre o fenômeno, 83% dos casos de branqueamento forte foram corretamente previstos (5 dos 6 casos), porém os acertos de casos de intensidade fraca reduziram para 80%. Dada a escassez de registros de ausência de branqueamento, nenhuma das redes testadas foi capaz de apontar corretamente o único caso registrado nos corais da Bahia. Por se tratar de um dado único, o aprendizado da rede o considera o menos provável, indiferente às circunstâncias.

Quando um nó possui um único pai, a probabilidade de ocorrência de um determinado estado está ligada apenas à fixação dos estados deste nó pai. Então, simulando uma ausência de dados relativos às variáveis conectadas diretamente a *Branqueamento*, os estados dos demais nós foram manipulados e as probabilidades das intensidades de branqueamento foram observadas novamente. As RB 1, 3 e 4 mantiveram as mesmas taxas de acerto, porém a RB 2 apresentou uma perda de capacidade preditiva para eventos de branqueamento fortes de 83% para no máximo 33%.

As RB foram obtidas a partir da planilha de casos de branqueamento, contudo o Netica permite incluir casos mesmo quando há uma ou mais informações faltando. Assim, foi possível inserir os dados mensais para os outros nós da rede mesmo quando não havia dados sobre o branqueamento e, desta forma, selecionar uma entre as três redes restantes. Observou-se que, geralmente, as redes mantiveram inalteradas suas previsões finais e quando são fixados os estados de um ou dois nós indiretamente conectados ao branqueamento (propagando a alteração da probabilidade até este nó) as RB 3 e 4 têm uma média de acerto pouco acima das RB 1. Uma vez que o objetivo do trabalho é a obtenção de uma RB que tenha variáveis que possam ser medidas facilmente, o que facilita o uso da rede como ferramenta de decisão, e pela diferença entre ambas ser a inclusão de um nó relativo ao vento |W| ou de um nó relativo à componente meridional do mesmo (V), selecionou-se a RB 3, que utiliza |W|, por se julgar ser este um parâmetro mais fácil de ser adquirido em campo.

Os resultados da validação cruzada mostraram que a RB 3 detém as melhores taxa de previsão, mesmo quando o caso em particular não participou da etapa de aprendizado. A RB manteve o erro de apenas 18% (3 dos 17 casos), porém, para 6 casos, a intensidade que de fato ocorreu teve probabilidade igual a de um segundo estado, na maioria das vezes indicando 50% de chances de branqueamento forte e de branqueamento fraco. Ainda assim, a maioria dos casos foi corretamente apontada pelo modelo.

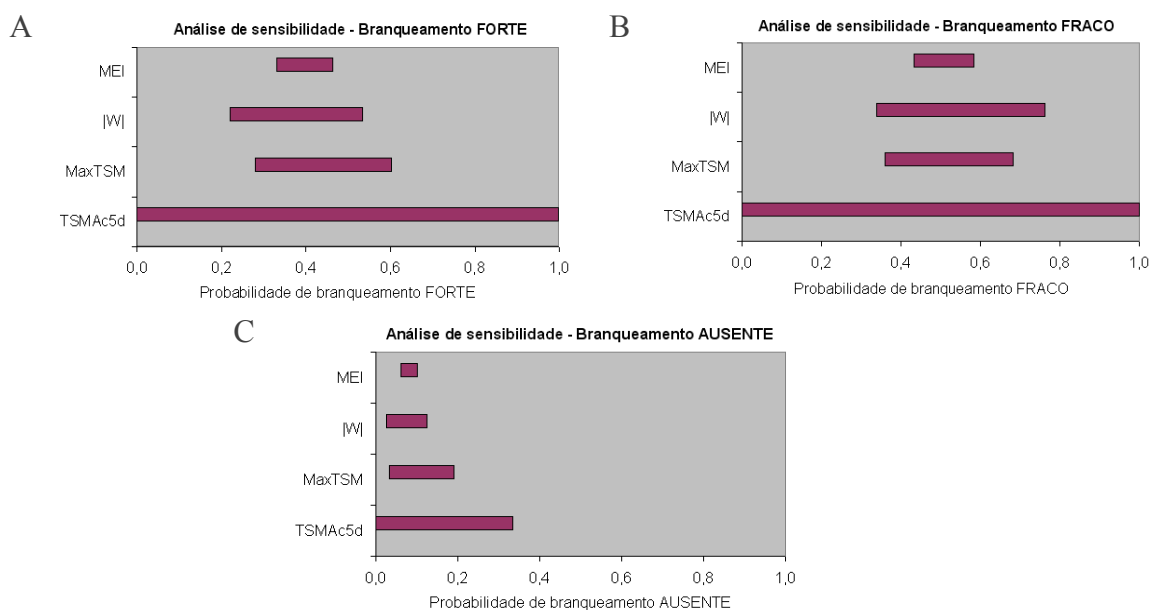


Figura 4- Sensibilidade de branqueamento A) forte, B) fraco e C) ausente a alterações individuais nos nós da RB 3.

Nos gráficos construídos a partir do resultado da análise de sensibilidade (Figura 4), as barras representam os limites da variação observada no estado do nó investigado quando os valores para os estados de cada nó do eixo y são alterados e os demais nós da RB são mantidos em seus estados mais prováveis. O único nó pai do *Branqueamento*, *TSMac5d*, foi a componente mais influente de toda a RB para todos os estados, seguido de *MaxTSM* e *|W|*, os próximos na linha de ascendência. O nó *Branqueamento* é relativamente insensível ao nó *MEI*, pois sua influência é propagada e refletida até o *Branqueamento* através dos efeitos causados nos nós intermediários. Em segundo plano, os estados *forte* e *ausente* foram mais sensíveis à variação de *MaxTSM* enquanto que com *|W|* a probabilidade de ocorrência de branqueamento de intensidade fraca tende a ser levemente maior. A baixa probabilidade de ocorrência *ausência* de *Branqueamento* é refletida na análise de sensibilidade deste estado (Figura 4C), cujas influências de todos os nós da rede são menores que para os estados *forte* e *fraco* (Figura 4A e 4B, respectivamente).

#### 4. Conclusões

Estes resultados concordam com a literatura, que aponta o ambiente termal como o principal desencadeador do fenômeno do branqueamento e que a exposição prolongada a altas temperaturas eleva a probabilidade de sua ocorrência (Glynn, 1996; Goreau e Hayes, 2005; Brown, 1997; Fitt et al., 2001; Belkerman et al., 2004). A *TSMac5d* foi uma variável construída à semelhança da Máxima TSM acumulada em três dias (*Max3day*) de Belkerman et al. (2004), que possui a maior correlação com a presença/ausência de branqueamento nos recifes da Grande Barreira de Corais (GBC). Woodridge e Done (2004) utilizaram esta variável em suas redes bayesianas de previsão do branqueamento e mortalidade de corais na GBC e apontam sua influência direta em ambos. Além disso, na análise de sensibilidade do nó referente à mortalidade, *Max3day* só não foi mais influente que o próprio branqueamento, superando, inclusive, a influência de fatores característicos dos recifes como habitat e a comunidade coralínea. O modelo obtido realça o fato de que os ambientes de ocorrência de branqueamento são um sistema altamente complexo que pode estar respondendo simultaneamente a forçantes globais e regionais. A técnica de redes Bayesianas apresentou-se adequada e o modelo respondeu bem ao propósito, conseguindo reproduzir satisfatoriamente os casos de branqueamento com os quais foi ensinado, em uma taxa de acerto superior a 80%.

O presente trabalho deixa clara a necessidade de investir em um monitoramento continuado dos recifes onde ocorreram eventos de branqueamento. O monitoramento é fundamental para que seja possível a distinção acurada entre as condições ambientais em que se desenvolve o branqueamento e aquelas onde o fenômeno não se desenvolve. Estudos futuros deverão concentrar esforços na construção de novas variáveis e na inclusão das mesmas na RB. Planeja-se a inclusão de variáveis representativas da influência de períodos de ventos de baixa intensidade, a exemplo da TSMac5d, e também de variáveis representativas da hidrodinâmica local. Acredita-se que este acréscimo de informações, a respeito dos recifes de corais e a ameaça à qual estão sujeitos, contribuam para a compreensão deste sistema ecológico e seja útil aos tomadores de decisão em relação ao manejo, monitoramento e conservação do mesmo.

### Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição ao Projeto Pro-Abrolhos, financiado pelo CNPq (420219/2005-6). Os autores agradecem Z.M.A.N. Leão, R.K. Kikuchi; R. B. Souza, L. P. Pezzi, M. A. L. Caetano e M. A. Soppa. Lilian Krug agradece à CAPES pela bolsa de mestrado.

### Referências Bibliográficas

- Belkermans, R.; De'ath, G.; Kininmonth, S.; Skirving, W. J. A comparison of the 1998 and 2002 coral bleaching events on the Great Barrier Reef: spatial correlation, patterns, and predictions. **Coral Reefs**, v. 23, n.1, p. 74-83, 2004.
- Brown, B. E. Coral bleaching: causes and consequences. **Coral Reefs**, v.16, n. 1, p. 129-138, 1997.
- Castro, C. B.; Pires, D. O. A bleaching event on a brazilian coral reef. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, n.1, p. 87-90, 1999.
- CEPEMAR - Serviços de Consultoria em Meio Ambiente Ltda. **Terminal de barcaças de Caravelas – Monitoramento dos recifes de corais**. Relatório Consolidado Período 2001-2005. Relatório Técnico. 44 p., 2005.
- Cheng, J. **Belief Network PowerConstructor** 2.2 Beta. Alberta: 2001. Disponível em: < <http://www.cs.ualberta.ca/~jcheng/bnpp.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2007.
- Cheng, J.; Griener, R.; Kelly, J.; Bell, D.; Liu, W. Learning bayesian networks from data: an information-theory based approach. **Artificial Intelligence**, v. 137, n. 3, p. 43-90, 2002.
- Fitt, W.K.; Brown, B.E.; Warner, M.E.; Dunne, R.P. Coral bleaching: interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals. **Coral Reefs** v.20, n.1 , p. 51-65, 2001.
- Glynn, P.W. Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. **Global Change Biology**, v. 2, n. 6, p. 495-509, 1996.
- Goreau, T. J.; Hayes, R. L. Monitoring and calibrating sea surface temperature anomalies with satellite and in-situ data to study effects of weather extremes and climate changes on coral reefs. **World Resource Review**, v. 17, n. 2, p. 242 – 252, 2005.
- IYOR. International Year of Reefs. Disponível em: <<http://www.iyor.org/reefs/>>. Acesso em 15 jan 2008.
- Krug, L. A. ; Gherardi, D. F. M. ; Stech J. L. ; Soppa, M. A. Caracterização do padrão espaço-temporal de variáveis físicas obtidas por sensoriamento remoto e reanálises para a costa do Estado da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2008, Fortaleza. **Anais ...**, 2008.
- Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P.; Oliveira, M. D. M. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 69-82, 2008.
- Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P.; Testa, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: Cortez, J. **Latin American Coral Reefs**. New York: Elsevier, p. 9-52, 2003.
- Neapolitan, R.E. **Learning Bayesian Networks**. 1ªEd. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004. 674 p. ISBN: 0-13-012534-2.
- NORSYS. Netica 3.17. Vancouver: Norsys Software Corp. 2006. Disponível em: < [www.norsys.com](http://www.norsys.com)>. Acesso em: 03 dez. 2006.
- Soppa, M. A. **Caracterização da variabilidade climática nos ecossistemas recifais brasileiros e sua relação com a biodiversidade de corais**. 2007-02-04. 209 p. (INPE-15147-TDI/1279). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.11.55>>. Acesso em: 06 maio 2008.
- Wooldridge, S.; Done, T. Learning to predict large-scale coral bleaching from past events: a bayesian approach using remotely sensed data, in-situ data, and environmental proxies. **Coral Reefs**, v. 23, n. 1, p. 96-108, 2004.