



11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

ADAPTAÇÃO DE ÍNDICES DE MACROALGAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA DE ÁGUAS COSTEIRAS EM ILHAS OCEÂNICAS COM INFLUÊNCIA SUB-TROPICAL: AÇORES

Daniela Gabriel¹, Manuela I. Parente², Joana Micael³ e Ana C. Costa⁴

¹ doutoramento; investigadora; CIBIO-Açores, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBIO Laboratório Associado, Pólo dos Açores, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, 9501-801 Ponta Delgada, Portugal; danielalgabriel@gmail.com

² doutoramento; investigadora; CIBIO-Açores, InBIO, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal; nelaparente@hotmail.com

³ doutoramento; investigadora; CIBIO-Açores, InBIO, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal; jfmicael@yahoo.com

⁴ doutoramento; professora auxiliar; CIBIO-Açores, InBIO, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal; accosta@uac.pt

Palavras-chave: Directiva Quadro da Água, Ilhas Oceânicas, Índice de Qualidade Ecológica, Macroalgas.

Tema: Biodiversidade e dinâmica costeira (Sub-tema 5).

Tipo de comunicação: comunicação oral.

1. Resumo

Algumas espécies de macroalgas integram no seu sistema os efeitos de exposição de longa duração a determinados poluentes. Consequentemente, num local impactado, ocorre uma diminuição do número de espécies mais sensíveis e um aumento de espécies ou abundância de macroalgas mais resistentes a ambientes poluídos. Por este motivo, o estudo das comunidades de macroalgas tem sido utilizado na monitorização a qualidade da água.

Desde a criação da Directiva-Quadro da Água (DQA) da União Europeia, diversos índices ecológicos com base em macroalgas têm sido propostos, geralmente combinando vários factores cujos dados são de simples aquisição que são integrados num valor único, traduzível para o público em geral em termos de estado ecológico.

Neste trabalho, quatro dos principais índices ecológicos que utilizam macroalgas como bioindicador foram aplicados em seis locais em seis das nove ilhas Açorianas: o EEI (Índice Avaliação Ecológica), o RSL (Índice de Lista de Espécies Reduzida), o CFR (Índice de Qualidade de Fundos Rochosos) e o MarMAT (Índice de Avaliação de Macroalgas Marinhas). As características particulares do Arquipélago dos Açores, exigem a adaptação das métricas utilizadas. Dos índices testados, o índice MarMAT (2012) apresentou-se como o mais eficiente no já que parece ser mais coerente com os resultados obtidos para os mesmos locais utilizando outros indicadores biológicos. O aumento da amostragem e respectiva replicação bem como a comparação entre e com zonas mais alteradas pela actividade humana, serão necessários para reforçar e validar os resultados preliminares aqui apresentados.

2. Introdução e justificação do tema



Devido à sua condição sedentária, as macroalgas integram os efeitos de exposição de longa duração a nutrientes e/ ou poluentes resultando numa diminuição ou desaparecimento das espécies mais sensíveis e na sua substituição por espécies mais resistentes ou oportunistas. Por este motivo, o estudo das comunidades de macroalgas tem sido considerado de grande utilidade para a monitorização da qualidade da água.

As macroalgas têm um papel preponderante como elementos indicadores, em especial em fundos rochosos de baixa profundidade os quais constituem a grande maioria dos fundos dos Açores. Neste arquipélago, tal como noutras áreas do Atlântico (e. g. na baía de Biscay, Juanes *et al.*, 2008), o fundo rochoso estende-se desde a zona entre marés até a zona submersa, num mosaico de nichos que resulta da colonização de diferentes substratos (plataformas, blocos, poças, fendas, etc.) pelos conjuntos mais competitivos de fauna e flora em resposta a uma combinação de factores físicos (maré, exposição, luz, substrato), químicos (salinidade, nutrientes) e biológicos (competição). Estes habitats bentónicos constituem uma parte importante das “massas de águas costeiras” estabelecidas para a implementação da DQA, na Região Hidrográfica Açores (RH9).

Desde que foi introduzido o conceito de “qualidade ecológica” através da Directiva-Quadro da Água (DQA), criada pela União Europeia (2000/60/CE) que visa a proteção das massas de águas, a avaliação do estado dos ecossistemas aquáticos e do respectivo desvio relativo às condições de uma massa de água idêntica em condições pristinas, diversos índices ecológicos com base em macroalgas têm sido propostos para a monitorização das águas costeiras e de transição. Estes índices são utilizados para ilustrar e resumir as condições e tendências do estado ecológico dos ecossistemas, e, quando aplicados correctamente, podem auxiliar nos processos de decisão, planeamento e gestão. Os índices mais adequados são os que combinam vários factores cujos dados são de simples aquisição e que resultam num valor único, traduzível para o público em geral em termos de estado ecológico (Marques *et al.*, 2009).

Quatro dos principais índices ecológicos que utilizam macroalgas como bioindicador, criados para águas costeiras do continente Europeu, foram testados nos Açores em seis pontos de amostragem em diferentes ilhas do arquipélago. As métricas dos diferentes índices foram adaptadas em função das características da flora marinha açoriana, isto é, mais empobrecida em termos de número de espécies relativamente às floras continentais (Tittley & Neto, 2005) e com forte componente de águas frias com elementos tropicais e subtropicais (Neto 1997), e da estreita linha de costa do arquipélago, que é de difícil acesso por terra e altamente exposta à ondulação.

3. Objectivos

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de testar a aplicabilidade de vários índices de qualidade ecológica que utilizam macroalgas como elemento indicador, na Região Hidrográfica Açores. Assim, os objectivos principais foram: (1) adaptar e testar os índices ecológicos existentes para as águas costeiras europeias para aplicação na região em estudo, e (2) classificar as massas de água costeiras de seis ilhas dos Açores utilizando os índices adaptados.

4. Metodologia

O Arquipélago dos Açores, composto por nove ilhas vulcânicas e alguns ilhéus, situa-se sobre a Crista Média Atlântica (Figura 1), entre os paralelos 36°55' e 39°43' N e os meridianos 24°46' e 31°16' W, sendo um dos arquipélagos mais isolados da Terra (Borges & Gabriel, 2009). A linha de costa do arquipélago estende-se por aproximadamente 844 km (Borges, 2003), sendo composta por rochas vulcânicas, sobretudo basalto (Forjaz, 1963) e rodeada por águas muito profundas (Gaspar & Queiroz, 1998). As praias arenosas são raras, mas existem algumas de calhau rolado.



27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

O Arquipélago situa-se no Atlântico Nordeste, na região temperada quente, sendo influenciado por massas de ar com características de ar tropical, temperado frio e polar. A corrente do Golfo age sobre o clima, directamente através do fluxo de águas mais quentes e indirectamente como barreira contra as correntes frias do Norte (Fernandes, 1985).

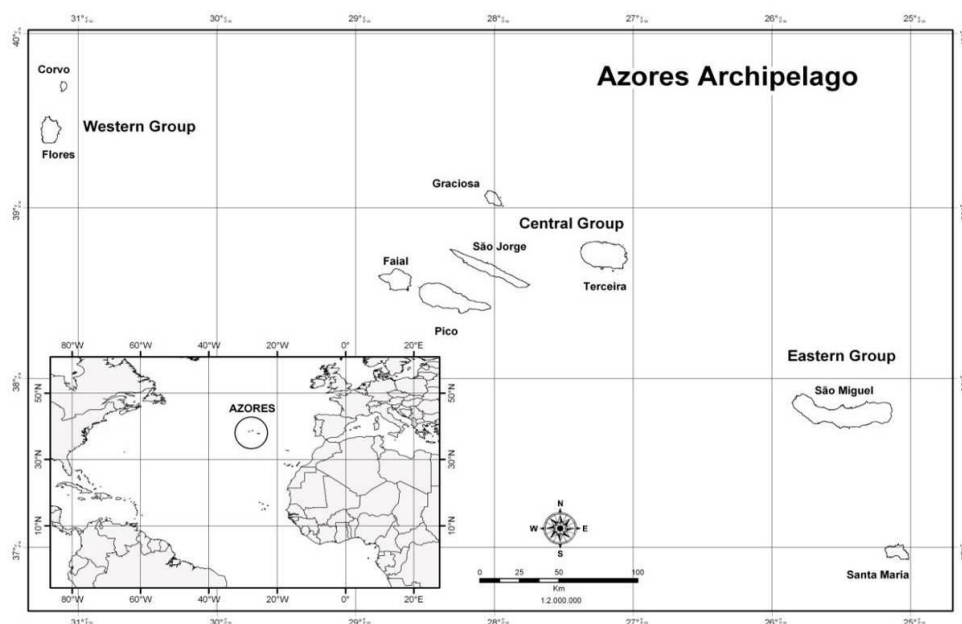


Figura 1. Localização geográfica do Arquipélago dos Açores no Atlântico Norte (©Secção de Geografia, Universidade dos Açores).

As marés são de carácter semi-diurno, apresentando amplitudes inferiores a 2 m (Wallenstein *et al.*, 2008). A linha de costa apresenta-se exposta à acção das ondas, com poucos locais abrigados, à excepção de algumas baías e portos (Neto, 1997). No Inverno ocorrem tempestades marítimas extremamente violentas (Neto, 1997). A temperatura da água do mar no arquipélago apresenta uma variação regular ao longo do ano oscilando, em média, entre os 15 e os 23 °C. São observadas as mínimas nos meses de Fevereiro e Março e as máximas em Agosto e Setembro.

Este trabalho abrange as massas de água costeiras de seis ilhas do Arquipélago, nomeadamente Flores e Corvo, Faial, Pico, São Jorge e Graciosa (ver Figura 1). A amostragem foi realizada no verão, por este ser o período do ano mais estável ambientalmente e também mais favorável para realizar amostragens na zona costeira no arquipélago.

Seguindo o conceito de lista de espécies reduzida (Wells *et al.*, 2007), foi elaborada uma lista com as espécies mais comuns nos Açores. Na lista elaborada, algumas espécies foram agrupadas em níveis taxonómicos superiores (e. g., géneros) ou segundo similaridades morfofisiológicas (e. g., crostas), para evitar erros de identificação durante a amostragem e evitar a necessidade de preservação de amostra para futura identificação em laboratório. A selecção foi feita com o objectivo de obter uma lista que respeitasse a proporção natural de clorófitas, faeófitas e rodófitas, da flora marinha dos Açores. Procurou-se ainda respeitar as especificidades da flora local e aplicar a metodologia descrita por Neto *et al.* (2012), o que possibilitou diminuir o esforço de amostragem e o tempo dedicado ao processamento das amostras. Esta lista serviu de base para os índices utilizados, para registar a presença de taxa seleccionados e a cobertura de



11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

espécies oportunistas. O grupo ecológico (ESG- Ecological Status Group) de cada *taxon* foi estipulado seguindo as directrizes descritas por Orfanidis *et al.* (2001). As macroalgas foram classificadas como oportunistas de acordo com Wells *et al.* (2007) e Wallenstein (2011), e como invasoras, segundo Parente (2010). Esta lista embora reduzida considerou-se ser conveniente para os fins pretendidos uma vez que Wallenstein (2011) não encontrou diferenças significativas entre a utilização de uma lista de espécies completa e uma reduzida para a classificação das costas de diferentes ilhas dos Açores.

A descrição da costa foi também considerada para a caracterização das comunidades estudadas, visto que a natureza física do substrato (e.g. inclinação e tamanho das rochas) e as condições ambientais (e.g. turbidez e abrasão por areia) afectam a riqueza específica e a ocorrência de *taxa* perenes ou oportunistas (Wells *et al.* 2007), o que poderá ter influência no comportamento do índice, mas que não poderá ser interpretado apenas como resultado da qualidade da água ou de influências antropogénicas (Ballesteros *et al.*, 2007). Assim, estes parâmetros são utilizados para calibrar os índices às condições naturais locais

Na zona entre marés, os transectos realizaram-se com leituras nas zonas supralitoral, mediolitoral e infralitoral, utilizando-se um quadrado de 25x25cm (3 replicados em cada zona). Na zona submersa, realizaram-se avaliações visuais por mergulho em transectos com o máximo 25m de comprimento (variável conforme a inclinação do transecto) e 1,5m de largura, em três patamares de profundidade seleccionados (5, 15 e 25m), recorrendo a um quadrado de 50x50cm (3 replicados em cada patamar). O tamanho do transecto e dos quadrados, assim como o número de replicados foram escolhidos com base em estudos anteriores de forma a garantir o tamanho mínimo de amostragem e abranger a maior diversidade de habitats possível (Wallenstein *et al.*, 2009). A inclusão de patamares subtidais, geralmente não considerado nos índices de qualidade ecológica, possibilitou abranger um maior número de habitats, assim como a realização de leituras mesmo quando não havia acesso à costa ou quando a ondulação estava alta.

Além da identificação *in loco*, da presença ou ausência de macroalgas da lista reduzida de espécies, registou-se também a percentagem de cobertura de espécies invasoras. Nas leituras na zona entre marés registou-se a abundância de todas as macroalgas observadas aplicando a escala DAFOR (Kent & Coker, 1992). Algas conspícuas não constantes na lista supra mencionada foram também registadas.

Quatro índices ecológicos foram aplicados neste estudo: Índice Avaliação Ecológica (EEI; Orfanidis *et al.* 2001), Índice de Lista de Espécies Reduzida (RSL; Wells 2008), Índice de Qualidade de Fundos Rochosos (CFR; Juanes *et al.* 2008) e Índice de Avaliação de Macroalgas Marinhas (MarMAT; Neto *et al.* 2012). Os índices grego EEI e espanhol CFR foram aplicados apenas para a zona entre-marés, enquanto que os índices inglês RSL e português MarMAT foram adaptados para incluir dados da zona submersa.

5. Principais resultados e contributos

Foi observado um total de 43 espécies de macroalgas, sendo o Faial a ilha que apresentou a maior riqueza específica com 27 espécies. As macroalgas vermelhas (rodófitas) predominaram em relação às algas castanhas (feofíceas) e verdes (clorófitas) em todas as massas de água estudadas, sendo observadas 26, 10 e 7 espécies, respectivamente (Figura 2). A massa de água do Faial foi a que apresentou uma maior abundância de espécies rodófitas (14 espécies). O número de feofíceas foi maior na Graciosa, Pico e Flores (7 espécies). O número de clorófitas foi superior no Pico e no Faial, com 3 espécies identificadas em cada uma das massas de água. Foi identificado um maior número de espécies oportunistas na massa de água do Pico (4 espécies), e um menor em São Jorge e Graciosa, com 1 espécie cada.

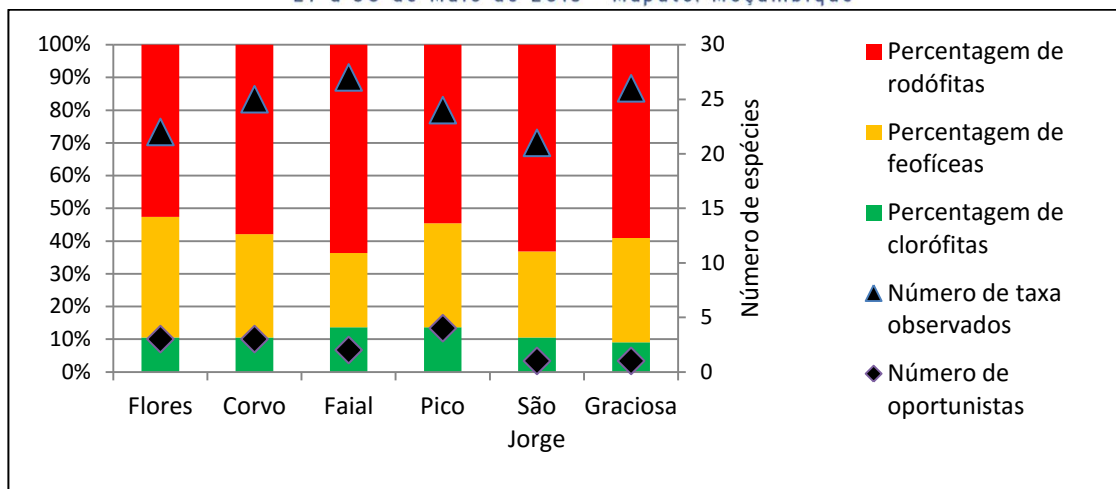


Figura 1. Riqueza específica, proporções de Clorófitas, Feofícias, Rodófitas e número de algas oportunistas nas respectivas massas de água.

De modo geral a abundância das diferentes espécies de algas variou bastante entre as diferentes massas de água, sendo composta por diversas espécies de ocorrência ocasional e rara. No entanto, a zona entre marés de São Jorge era dominada por algas calcárias articuladas, que também eram abundantes na zona entre marés das Flores e do Faial. De entre as algas de ocorrência frequente destacam-se no Corvo as algas incrustantes castanhas e as algas vermelhas calcárias, no Faial, o *Codium* spp. e as algas calcárias articuladas, no Pico, as algas calcárias incrustantes e *Laurencia* spp., e na Graciosa, *Codium* spp., *Hypnea* spp. e as algas calcárias incrustantes.

As comunidades algais foram analisadas por ordenação multivariada, nMDS, com base na identidade das espécies e na sua abundância, na zona entre marés e nas diferentes profundidades consideradas na zona submersa em cada uma das ilhas abrangidas por este trabalho. Da análise efectuada sobre a composição específica (dados qualitativos), distinguem-se cinco agrupamentos com similaridade acima de 50% (Figura 3). O grupo SJO_int/ GRA_int está relacionado com a comunidade algal da GRA_25m, que por sua vez apresenta uma maior dissimilaridade em relação às restantes comunidades. O grupo FAI_int/ PIC_int/ COR_int/ PIC_5m/ FLO_int é composto por comunidades algais que, embora tenham alguma similaridade entre si, apresentam uma maior variabilidade na composição das comunidades algais entre as várias ilhas. O grupo COR_20m/ COR_5m junta as comunidades observadas no subtidal do Corvo. E por fim, o maior agrupamento, SJO_25m/ PIC_25m/ GRA_15m/ PIC_15m/ FLO_5m/ SJO_5m/ GRA_5m/ SJO_15m/ FAI_25m/ FLO_25m/ FAI_5m/ FLO_15m/ FAI_15m, sugere que em SJO_5m e SJO_15m há uma comunidade algal muito semelhante entre si, bem como nos pontos FLO_15m e FLO_25m e nos pontos GRA_15m e PIC_15m, sendo que, nestes dois últimos pontos, a composição algal não é tão semelhante como nos restantes dois grupos (Figura 3).

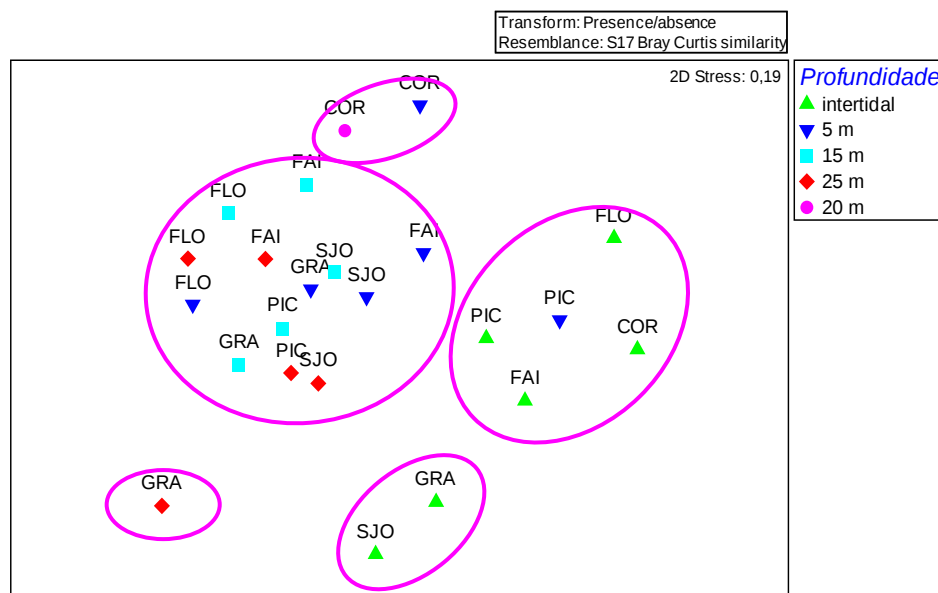


Figura 3. Ordenação nMDS das comunidades algais das diferentes ilhas (Bray-Curtis, sobre matrizes de presença/ausência de espécies). Agrupamentos da análise de Cluster a similaridade 50.

A aplicação do Índice de Avaliação Ecológica (EEI) resulta numa pontuação máxima de Rácio do Estado Ecológico (EQR) para as ilhas Flores e São Jorge, nomeadamente 10,00 valores. Assim, estas obtiveram uma classificação “EXCELENTE” no seu Estado de Qualidade Ecológica (EQS). Por seu lado, o Faial alcançou uma pontuação bastante alta, também sendo classificada como “EXCELENTE”. A massa de água da Graciosa, bem como do Pico e do Corvo, obtiveram uma classificação final de “BOA”.

Os resultados obtidos através da aplicação do Índice de Qualidade de Fundos Rochosos (CFR) indicam que as massas de água de São Jorge, Faial, Flores e Corvo apresentam um EQR máximo, ou seja, uma qualidade máxima “EXCELENTE”. Com pontuações altas, próximas do seu limite máximo, encontramos Pico e Graciosa com a classificação “BOA”.

De uma forma geral o EQR total obtido através do índice RSL é muito semelhante entre todas as ilhas estudadas, variando de 0,80 no Pico a 0,88 no Corvo. Assim, todas as massas de água apresentam EQS “EXCELENTE”, com excepção do Pico que está no limite do “BOM”.

A aplicação do índice MarMAT resultou na classificação ecológica máxima “EXCELENTE” para todas as ilhas estudadas. O rácio ecológico total (EQR) apresentou pouca variação entre as diferentes massas de água, correspondendo ao Faial a massa de água com maior valor calculado, isto é, 0,94.

Na Tabela 1, apresentam-se todos os resultados obtidos na aplicação dos diferentes índices supramencionados, bem como todos os dados relevantes ao cálculo dos mesmos. Com uma análise mais pormenorizada, é possível constatar que: (1) na massa de água do Pico foi identificado um maior número de macroalgas oportunistas (4 espécies); (2) a maior percentagem de cobertura de algas oportunistas foi detectada na massa de água do Corvo (<21,4%); (3) o grupo de macroalgas com maior predominância é o das rodófitas (algas vermelhas) com percentagens de cobertura entre os 53% e os 64%; (4) as massas de água Faial e São Jorge apresentaram rácios R/P altíssimos, com 2,8 e 2,4, respectivamente; (5) Flores, Faial



11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

e São Jorge alcançaram a qualificação “EXCELENTE” em todos os índices utilizados, enquanto o Corvo recebeu “EXCELENTE” em 3, Graciosa em 2 e Pico em apenas 1 índice.

Tabela 1. Resumo dos dados utilizados no cálculo dos índices de qualidade ecológica, com respectivas pontuações (EQR) e qualificações (EQS) por massa de água estudada. Os índices assinalados com * foram calculados apenas para a zona entre marés. Os EQS assinalados na cor verde equivalem à classificação “BOA”, e em azul, à “EXCELENTE”.

	Flores	Corvo	Faial	Pico	São Jorge	Graciosa
Número de <i>taxa</i> seleccionados	19	19	22	22	19	22
Número de oportunistas	3	3	2	4	1	1
Número de <i>taxa</i> ESG1	11	13	13	13	12	13
Número de <i>taxa</i> ESG2	8	6	9	9	7	9
Cobertura de oportunistas	< 19%	< 21,4%	< 5,8%	< 14,2%	< 2,9%	< 5%
Pontuação da Descrição da costa	14	14	14	16	15	15
Proporção de clorófitas	11%	11%	14%	14%	11%	9%
Proporção de rodófitas	53%	58%	64%	55%	63%	59%
Proporção de oportunistas	16%	16%	9%	18%	5%	5%
Rodófitas/Feofíceas	1,43	1,83	2,80	1,71	2,40	1,86
EEl *	1,00	0,80	0,92	0,70	1,00	0,73
RSL	0,81	0,88	0,84	0,80	0,86	0,84
CFR *	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	0,76
MarMAT	0,86	0,86	0,94	0,92	0,86	0,92

Na figura 4 encontram-se representados todos os valores de EQR calculados. Destaca-se o facto de os índices que tiveram por base apenas a zona entre marés apresentarem valores mais díspares entre ilhas.

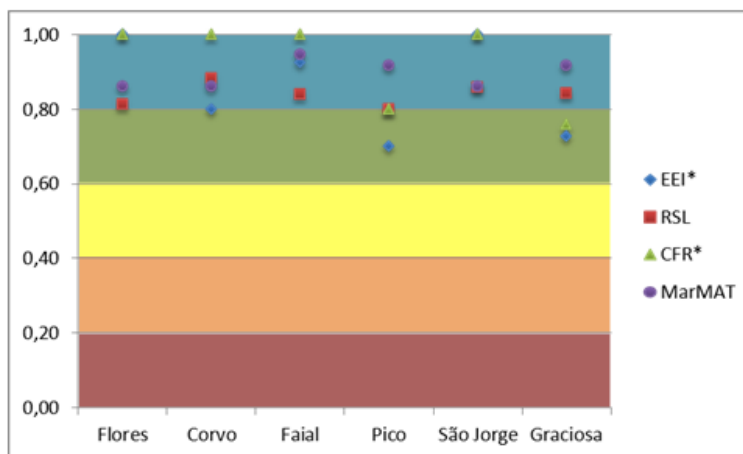


Figura 4. Valores de EQR calculados para as diferentes massas de água estudadas. Os índices assinalados com * foram calculados apenas para a zona entre marés.



6. Discussão

No presente trabalho, o número total de espécies observadas não variou muito entre os pontos de amostragens, porém a composição florística foi diferente entre ilhas, especialmente na zona entre marés. A composição florística dos patamares subtidais de todas as ilhas/massas de água estudadas é mais semelhante entre si do que a composição florística das zonas intertidais.

Este contraste de resultados, deve-se muito provavelmente ao facto de os pontos de amostragem do presente trabalho incidirem sobre áreas com diferentes características morfológicas e de a zona entre-marés e a zona submersa terem sido analisadas conjuntamente como representativas do somatório dos diferentes habitats, donde resultou num número total de espécies bastante semelhante entre as ilhas. A composição florística dos patamares subtidais de todas as ilhas/massas de água estudadas é mais semelhante entre si do que a composição florística das zonas intertidais. Este resultado deve-se tanto ao facto de as condições ambientais serem menos estáveis na zona entre marés, como também à maior diversidade de sub-habitats observados na zona submersa em todos os pontos de amostragem. Já Wallenstein (2011), trabalhando apenas com amostragens no intertidal concluiu que nos Açores, o número de espécies é variável tanto na mesma ilha como entre ilhas, e este facto aliado ao baixo número de locais amostrados dificulta a interpretação relativamente a padrões geográficos e temporais da composição específica. O número total de espécies registado por Wallenstein (2011) em qualquer uma das ilhas estudadas tendia a aumentar com o número de locais amostrados, revelando um efeito cumulativo na riqueza específica como resultado do esforço de amostragem.

Neste trabalho a riqueza específica tendeu a diminuir com a profundidade até aos 15 m, podendo aumentar ligeiramente aos 25 m. A Ilha do Corvo representou uma excepção, visto que o número de espécies observadas foi directamente proporcional ao aumento da profundidade. Esta excepção deve-se, provavelmente, ao tipo de costa deste local e à sua orientação geográfica de que resulta uma maior exposição das comunidades algais tanto às derrocadas da arriba quanto à ondulação, estando mais protegidas a maiores profundidades.

As algas mais dominantes na zona entre marés foram as calcáreas incrustantes e as calcáreas articuladas, cuja abundância reflecte a presença de elevado hidrodinamismo característico destas costas. Outras espécies de ocorrência frequente foram uma espécie de *Codium* incrustante, e diversas espécies de algas vermelhas agarófitas formando tufo, características estas que também reflectem resistência às ondas. A riqueza específica foi maior em locais onde foram observadas maiores temperaturas da água, e foi maior nas ilhas do triângulo, isto é, Faial, Pico e São Jorge, provavelmente também em resultado da menor exposição, já que os pontos de amostragem nessas ilhas corresponderam a zonas menos expostas à ondulação (Rusu & Soares, 2012), o que favorece a fixação e sobrevivência de um maior número de espécies.

No hemisfério Norte, a percentagem relativa de rodófitas diminui dos trópicos em direcção ao pólo, com 60 a 70% de algas vermelhas à volta dos 40° de latitude, e 30 a 40% no Ártico (Santelice *et al.*, 2009). Os dados do presente estudo apresentam percentagens ligeiramente mais baixas, para o seria de esperar de acordo com aqueles autores para a respectiva latitude mas não incluíram a identificação ao nível de espécie das algas filamentosas e há que considerar o efeito de ilha no número de espécies esperadas. No entanto, a percentagem de rodófitas foi inversamente proporcional a latitude, mas maior nas massas de água do Faial, Pico e São Jorge, o mais uma vez pode estar relacionado com a já mencionada menor exposição nestes pontos e/ou outros factores biológicos não contemplados no trabalho, que poderão estar a condicionar os resultados eg herbivoria, sobretudo a realizada pelos peixes. A proporção das algas oportunistas observadas no presente estudo variou entre 5 e 18%, e está de acordo com Wallenstein (2011), que determinou que a média da proporção de oportunistas é de 0.10 (± 0.06), com um máximo de 0.38, sendo 70% de todas as



áreas amostradas por aquele autor apresentaram uma proporção entre 5-15% de espécies oportunistas. No mencionado estudo, a variabilidade entre ilhas foi demasiado grande para permitir qualquer conclusão quanto às diferenças entre ilhas, no entanto os dados deste relatório indicam uma tendência para proporções de oportunistas mais baixas nas águas de melhor condição ecológica, mesmo quando o índice utilizado não inclui esta métrica. Das três espécies de algas invasoras referidas para os Açores por Cardigos *et al.* (2006), apenas uma foi observada nas campanhas realizadas no presente estudo, a alga vermelha *Asparagospis armata*.

Num recente estudo, Wallenstein (2011) registou que a média do rácio ESG para o arquipélago é de 1,4 ($\pm 0,6$), com 85% das áreas amostras com um valor superior a 1, indicando uma tendência das comunidades para serem dominadas por espécies de sucessões tardias. No entanto, a variabilidade entre as áreas amostradas no mencionado estudo foi consistentemente alta, não permitindo tirar conclusões sobre as diferenças entre ilhas. Os dados que obtivemos estão de acordo com Wallenstein (2011), já que 4 das 6 massas de água abrangidas por este trabalho obtiveram o rácio de ESG de 1,4.

O rácio R/P (rodófitas/ feofíceas) situa-se entre 1,0 e 2,0 em águas temperadas, podendo alcançar os 4,3 em águas tropicais (Feldmann, 1937). Neste trabalho o rácio R/P calculado para as diferentes massas de água situou-se entre 1,4 e 2,8, reforçando a ideia de Tittley & Neto (2005) que as comunidade algais dos Açores apresentam propriedades de águas temperadas, porém com influência tropical. Apesar de não ser um indicador biótico de grande precisão (Marques *et al.*, 2009), foi utilizado como um apoio na qualificação das águas, mostrando uma separação entre as massas de água estudadas. Como observado por Azzopadi & Schembri (2010) para o Mediterrâneo, os resultados indicam um agrupamento de massas de água que reflectem as classificações dos outros índices bióticos. Assim, as massas de água das ilhas que receberam a classificação “BOA” por aplicação dos outros índices (Corvo, Pico e Graciosa) apresentam uma R/P muito semelhante.,

As ilhas do Faial, São Jorge e Flores obtiveram a qualificação de excelente nos quatro índices utilizados, isto é, EEI, RSL, CFR e MarMAT, enquanto que o Corvo obteve excelente em três, a Graciosa em dois e o Pico apenas em um dos índices. A classificação do índice MarMAT foi de “EXCELENTE” em todas as massas de água, sendo a do Faial a que obteve o valor mais alto, com EQR total igual a 0,94. Os valores obtidos variam conforme o índice utilizado, mas indicam que as águas costeiras dos Açores estão em bom ou excelente estado ecológico. Este resultado vai ao encontro do esperado, visto que o arquipélago dos Açores se encontra isolado, no meio do Atlântico Norte, apresenta uma população de cerca de 250 mil habitantes, e não possui uma actividade industrial significativa, assemelhando-se a uma condição de referência, isto é, com reduzida interferência humana.

De maneira geral, os valores dos índices são muito semelhantes entre as ilhas/massas de água, com tendência a divergirem menos quando se incluem dados de patamares submersos. Esta maior homogeneidade pode estar relacionada com o facto de se observar uma maior diversidade de habitats em zonas submersas, o que resulta num registo mais completo das espécies presentes, o que contribui para uma maior precisão dos índices. Por outro lado, as leituras das zonas entre-marés estão dependentes das condições do mar, como a amplitude de maré e a altura das ondas, reforçando a necessidade de se incluir os dados relativos à zona submersa. A maior instabilidade do habitat na zona entre marés pode também ter influencia nos resultados, mas mais uma vez uma maior replicação de pontos de amostragem por ilha garantiria uma maior robustez aos dados. Na realidade a variação natural é a base contra a qual quaisquer efeitos de modificações antropogénicas têm que ser contrastadas para serem detectadas e medidas (Coleman, 2002) e esta é talvez a menos compreendida das características dos ecossistemas marinhos (Smayda, 1984). Esta variabilidade que inclui componentes espaciais e temporais é um dos principais problemas a considerar na planificação experimental e determina as escalas de amostragem (Coleman,



2002). Mesmo que a amostragem englobe a gama de variabilidade natural, o que está relacionado com a replicação e tamanho da amostra (Skalski & McKenie, 1982), a capacidade de discriminar estatisticamente as condições de impacte das condições de referência ainda depende da grandeza do impacte que se pretende detectar.

Por outro lado, em consequência da sua localização geográfica na proximidade do ponto anfidrómico do Atlântico Norte, que determina uma pequena amplitude de maré, a área de intertidal disponível nos Açores para a fixação das várias espécies características deste habitat é limitada. Assim, ao factor de ilha, que limita o número de espécies nativas e disponíveis para incluir nos índices, acresce a área reduzida disponível para o estabelecimento das algas, reforçando a necessidade de incluir a zona submersa na caracterização das massas de água na DQA.

7. Conclusões

Este trabalho inicial permitiu concluir que todas as massas de água costeiras estudadas cumprem os objectivos ambientais fixados pela DQA e que a maioria delas se encontra num estado Excelente.

Os dados aqui apresentados reflectem a evolução dos índices ecológicos, uma vez que, à medida que estes foram criados, foram sendo adaptados e incorporaram outras métricas, sendo os mais recentes aqueles que parecem ser mais completos em termos da informação incorporada. O MarMAT (2012) mostrou ser o índice mais eficiente no presente estudo, já que parece ser o mais coerente com os resultados obtidos para os mesmos locais com os outros índices biológicos utilizados.

A inclusão das leituras da zona submersa no índice MarMAT justifica-se pela curta extensão da zona entre marés dos Açores e à grande instabilidade a que esta zona está sujeita devido ao hidrodinamismo que condicionam em termos de disponibilidade espacial e variabilidade ambiental a sua colonização facto que enviesa os resultados quando se restringe a amostragem a esta zona, já que há um aumento da variabilidade, menor número de espécies e maior abundância de oportunistas quando a amostragem é apenas restrita a esta zona. Assim as leituras do subtidal compensam este facto aumentando o rigor nos resultado final do índice.

Futuros trabalhos incluem o aumento da replicação espacial da amostragem em cada uma das massas de água para garantir a representatividade das amostras e evitar o enviesamento dos resultados como consequência da variabilidade espacial dos elementos biológicos usados na avaliação do estado ecológico. Considerando que o tipo de costa é muito variável em todas as ilhas, a escolha de futuros pontos de amostragem deve incidir sobre costas com diferentes características hidromorfológicas. A validação da adaptação dos índices utilizados dependerá da comparação entre as massas de água avaliadas com as massas de água de zonas mais alteradas pela actividade humana.

Considerando ainda, que os Açores, pela sua localização subtropical, poderá sofrer de um efeito de herbivoria sobre as macroalgas por parte da ictiofauna, este poderá ser um parâmetro a ter em consideração, para efeitos de monitorização nas massas de água costeiras, pois poderá ser um elemento de suporte importante que contribua para a estruturação da própria comunidade algal (Costa, 2003).

No entanto, os resultados aqui relatados apresentam-se auspiciosos para a utilização em particular do índice MAR-Mat adaptado aos Açores (MAR-Mat-Az) para efeitos de avaliação ecológica das massas de água costeiras nos Açores e da sua monitorização quer em termos da aplicação no âmbito da DQA ou noutro âmbito sempre que este parâmetro de qualidade seja desejável monitorizar, como por exemplo para avaliar impactos no âmbito de aplicação de acções realizadas no âmbito de planos de ordenamento. Por outro lado a metodologia seguida para adaptação do índice a esta região, também se nos revela promissora para adaptações noutras realidades geográficas.



8. Agradecimentos

As autoras agradecem o apoio dos seguintes participantes no trabalho de campo e/ou na análise dos dados: Paula Aguiar, Cátia Pereira, Cláudia Hipólito, João Brum, Paulo Torres, Victor Gonçalves, Agroleico Lda, e os skipers das embarcações Alabote e Odisséia. Este trabalho não seria possível sem o financiamento da Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos (DROTRH).

9. Referências bibliográficas

Azzopardi, M. & P.J. Schembri. 2010. Assessment of the ecological status of Maltese coastal waters using the Rhodophyta/Phaeophyta Mean Ratio Index (R/P Rt. I.). *Rapport du Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* 39: 718.

Ballesteros, E.X. Torras, S., Pinedo, M. García, L. Mangialajo & M. Torres. 2007. A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European water framework directive. *Marine Pollution Bulletin* 55: 172–180.

Borges, P. & R. Gabriel. 2009. *Predicting extinctions on oceanic islands: arthropods and bryophytes / Estimar extinções em ilhas oceânicas: artrópodes e briófitos*. Grupo de Biodiversidade dos Açores, Angra do Heroísmo. 80 pp.

Borges, P. 2003. *Ambientes litorais nos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores, conteúdos e dinâmica de microescala*. Universidade dos Açores. Tese de Doutoramento. 413p.

Cardigos, F., Tempera, F., Ávila, S., Gonçalves, J. , Colaço, A. & R.S. Santos. 2006. Non-indigenous marine species of the Azores. *Helgolander Marine Research* 60(2): 160–169

Coleman, M. 2002 Small-scale spatial variability in intertidal and subtidal turfing alga assemblages and the temporal generality of these patterns. *Journal of experimental marine Biology and Ecology* 267: 53–74

Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199: 1302–1310.

Costa, A.C. 2003. *Diversidade de invertebrados das comunidades algais no subtidal de São Miguel e perturbação ambiental*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Mar. Universidade dos Açores, Ponta Delgada. 196 pp.

Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho nº2000/60/CE de 22 Dezembro (*Directiva Quadro Água (DQA)*).

Feldmann, J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Méditerranée. La cote des Alberes. *Revue Algologique* 10: 1–339.

Fernandes, J. 1985. *Terceira (Açores). Estudo geográfico*. Tese de doutoramento em geografia. Universidade dos Açores. 434 pp.

Forjaz, V. 1963. Resumo geológico das Ilhas dos Açores. *Separata de Atlântida* 8(4–5): 243–245.

Gaspar, J.L. & G. Queiroz. 1998. A Actividade Sísmica e Vulcânica no Arquipélago. 34º Congresso Internacional de Urbanistas, pp. 7–15.

Instituto Hidrográfico, 1981. *Roteiro do Arquipélago dos Açores*. PUB. (N)-IH-128-SN. 237 pp.

Juanes, J.A., Guinda, X., Puente, A. & J.A. Revilla. 2008. Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status of coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecological indicators* 8(4): 351–359.



11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

- Kent M. & P. Coker. 1992. *Vegetation description and analysis. A practical approach*. John Wiley and Sons, Chichester. 363pp.
- Marques, J.C., F. Salas J. Patricio, H. Teixeira & J.M. Neto. 2009. *Ecological indicators for coastal and estuarine environmental assessment; a users guide*. WIT Press. 208pp
- Neto, A. 1997. *Studies on algal communities of São Miguel, Azores*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores, Ponta Delgada. x+309 pp.
- Neto, J. M., Gaspar, R., Pereira, L. & J.C. Marques 2012. Marine Macroalgae Assessment Tool (MarMAT) for intertidal rocky shores. Quality assessment under the scope of the European Water Framework Directive. *Ecological Indicators* 19: 39–47.
- Orfanidis, S., Panayotidis & N. Stamatis. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes-based model. *Mediterranean Marine Research* 2(2): 45–65.
- Parente, M.I. 2010. List of marine macroalgae (Rhodophyta, Chlorophyta and Phaeophyceae) *In*: Borges, P.A.V., Costa, A., Cunha, R., Gabriel, R., Gonçalves, V., Martins, A.F., Melo, I., Parente, M., Raposeiro, P., Rodrigues, P., Santos, R.S., Silva, L., Vieira, P. & V. Vieira(eds.) *A list of the terrestrial and marine biota from the Azores*. pp. 9-33, Príncipe, Cascais. 432 pp.
- Rusu, L. & C.G. Soares, 2012 Wave energy assessments in the Azores islands. *Renewable Energy* 45: 183–196.
- Ryall, P., M. Blanchard & F. Medioli. 1983. A subsided island west of Flores. *Canadian Journal of Earth Sciences* 20: 764–775.
- Santelices, B., Bolton, J.J. & I. Meneses. 2009. Marine Algal Communities *In*: Witman, J.D. & R. Kaustuv. *Marine Macroecology* Ed.: University of Chicago Press. 440 pages
- Skalski, J. & D. McKenzie 1982 A design for aquatic monitoring programs. *Journal of Environmental Management* 14: 237–251.
- Smayda, T. 1984 Variations and long-term changes in Narragansett Bay, a phytoplankton-based coastal marine ecosystem: relevance to field monitoring for pollution assessment *In*: White, H. (Ed) *Concepts in marine pollution measurements*. pp: 663-680. College Park: A Maryland Sea Grant Publ., University of Maryland.
- Tittley, I. & A.I. Neto. 2005. The Marine Algal (Seaweed) Flora of the Azores: further additions and amendments. *Botanica Marina* 48: 248–255.
- Wallenstein, F.M. 2011. *Rocky shore macroalgae communities of the Azores (Portugal) and the British Isles : a comparison for the development of ecological quality assessment tools*. Edinburgh : Heriot-Watt University. XX, 206 f. + Anexo [1 disco óptico]. PhD [Tese de Doutoramento].
- Wallenstein, F.M., Neto, A.I., Álvaro, N.V., Tittley, I. & J.M.N. Azevedo. 2008. *Guia para identificação de biótopos costeiros em ilhas oceânicas*. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. 92 pp.
- Wallenstein, F.M., Terra, M.R., Pombo, J. & A.I. Neto 2009. Macroalgal turfs in the Azores. *Marine Ecology* 30: 113–117.
- Wells, E. 2008. Intertidal Coastal Waters Macroalgae – Rocky Shore Tool. UK Marine Plants Task Team for the Water Framework Directive. Paper no. MPTT/MAT01 V.5.



11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

Wells, E., Wilkinson, M., Wood, P. & C. Scanlan. 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55: 151–161.