

MARIA LEONOR PEREIRA DE ALMEIDA PAVÃO SEQUEIRA DE MEDEIROS

EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

PROGRAMA, CONTEÚDOS e MÉTODOS DE ENSINO

Relatório apresentado no âmbito das Provas Públicas requeridas para a obtenção do título de agregado no grupo de disciplinas de Bioquímica, nos termos da acção conjugada dos artigos 15º e 24º do Decreto-Lei nº301/72, de 14 de Agosto.



UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Ponta Delgada
2006

INTRODUÇÃO

1. Enquadramento, natureza e orientação geral da disciplina

A presente proposta foi elaborada com o objectivo de constituir uma disciplina semestral de carácter optativo do curso de licenciatura em Biologia, ramo de Biotecnologia, da Universidade dos Açores, nos termos definidos no Plano de Estudos em vigor a partir do ano lectivo de 2004-2005. No entanto, reconhece-se que, quer pelo seu conteúdo, quer pela formação prévia requerida a quem a frequenta, pode ser integrada, igualmente como disciplina de opção, nos cursos de Física e Química (ensino de) ou de Ciências Biológicas e da Saúde existentes na mesma instituição.

Trata-se de uma disciplina nova, incluída na área disciplinar de Química, com carácter de seminário, cujo programa nunca foi testado como tal. Na realidade, o núcleo central do mesmo chegou a constar como uma pequena parte de uma proposta de programa da disciplina de Bioquímica III, de carácter obrigatório, a qual nunca foi efectivamente levada à prática devido à diminuição do número de horas entretanto atribuído à disciplina numa das remodelações do curso.

Em relação ao número de créditos que confere (2) e à carga horária definida (4 horas semanais), o presente conteúdo programático deverá ser cumprido num período compreendido entre 13 e 15 semanas. O tempo exacto será determinado fundamentalmente, em cada ano, pela data de início do ano escolar e pelo horário fixado para a disciplina. Assim, determinados aspectos da matéria poderão ser mais ou menos desenvolvidos nas sessões lectivas, remetendo-se para leituras posteriores e para os trabalhos a apresentar pelos estudantes o aprofundamento de alguns pontos.

As 4 horas semanais atribuídas à disciplina (2h+2h) serão utilizadas de forma variável ao longo do semestre, sendo que as aulas teóricas expositivas não deverão ultrapassar as 23 sessões. As restantes serão distribuídas por aulas práticas ou de resolução de problemas, sessões de exploração e apresentação de artigos, sessões de preparação e apresentação de monografias ou de trabalhos de divulgação e uma sessão (2h) para a realização de um teste de avaliação.

O posicionamento da disciplina no programa do curso pressupõe que os estudantes que a frequentem tenham já concluído a sua formação de base em Biologia, Física, Química e Bioquímica, nomeadamente, nestas últimas áreas, através das cadeiras semestrais de Química Geral, Bioquímica I e Bioquímica II. Assim, no que diz respeito a estas duas

últimas, já terão sido tratados os temas centrais habitualmente inseridos nestas disciplinas de formação inicial – estrutura química, relação estrutura/função e metabolismo de glícidos, lípidos, prótidos e nucleótidos - bem como os principais aspectos da sua regulação, quer ao nível metabólico quer hormonal, numa perspectiva de visão integrada do funcionamento de um organismo vivo. Concomitantemente, funcionará para os mesmos alunos a disciplina de Bioquímica III, de carácter obrigatório, cujo conteúdo diz respeito fundamentalmente aos processos de aquisição e utilização dos elementos químicos ditos “inorgânicos” e à utilização do oxigénio (nomeadamente na sua forma molecular) pelos sistemas biológicos. Sobre a última parte referida do programa de Bioquímica III, poderá dizer-se que haverá uma certa complementaridade em relação ao tema da disciplina agora proposta, na medida em que contempla os sistemas antioxidantes de defesa desenvolvidos pelos organismos aeróbios para fazer face aos efeitos nocivos das espécies reactivas do oxigénio, cuja formação também pode ser desencadeada pelas radiações ionizantes.

Na sequência do exposto, pretende-se que a disciplina de “Efeitos biológicos das radiações” permita a abordagem, ainda que a um nível necessariamente introdutório, de um tema de extraordinário interesse e actualidade, geralmente ausente dos programas dos cursos de Biologia e até dos mais directamente relacionados com a saúde humana.

A disciplina estará pois essencialmente orientada no sentido da valorização da vida e do ambiente, em geral, e da preservação da saúde do homem (em particular), inadvertida ou irremediavelmente exposto à acção deletéria de agentes que, sendo de origem exógena, são todavia em grande parte resultantes da alteração do ambiente natural pela intervenção humana ou da criação e manipulação de fontes artificiais de radiação ionizante.

2. Sobre a natureza e o interesse do tema

A designação de “efeitos biológicos das radiações”, aparentemente aplicável a qualquer tipo de radiação é, no entanto, geralmente entendida num âmbito mais restrito - o do estudo, a todos os níveis da organização biológica (desde a absorção por átomos e moléculas essenciais até ao desenvolvimento do cancro e de alterações genéticas que se perpetuam pelas gerações vindouras) das acções das radiações de elevada energia, ou seja, com capacidade de provocar ionização na matéria com a qual interagem. Estas radiações, ditas por isso “ionizantes”, envolvem radiação de natureza electromagnética (como os Raios X, a radiação γ ou mesmo a radiação UV de elevada energia), de natureza

corpúscular (como partículas- α , partículas- β , prótons e neutrões) e fragmentos de fissão nuclear.

Na realidade, a interacção da radiação com a vida foi e continua a ser parte integrante da evolução orgânica da Terra, contemplando todos os seres vivos, incluindo o homem. O desenvolvimento do planeta e a evolução biológica criaram assim um estado estacionário de certa forma precário e frágil, cujas alterações, mesmo as aparentemente mais insignificantes, podem trazer consequências imprevisíveis para a vida que se conhece.

O sol é, naturalmente, a principal fonte de radiação, origem de toda a vida, não apenas pela produção de energia calorífica e pela fotossíntese que promove, mas também pela formação de ozono que proporciona. Este gás, que resulta de reacções fotoquímicas nas zonas mais externas da atmosfera, ao acumular-se numa camada superior, providencia protecção contra os efeitos nocivos provocados pela fracção de radiação ultravioleta de onda curta do espectro solar.

O homem está pois exposto de muitas formas à radiação ionizante. Desde o espaço exterior e do sol, do solo e dos materiais de construção, das substâncias radioactivas incorporadas nos alimentos e no ar, até às radiações artificiais deliberadamente utilizadas na ciência e na tecnologia aplicada aos mais variados fins, o homem está sujeito aos efeitos nocivos da radiação através de processos físicos e químicos que ocorrem continuamente no seu ambiente e no seu organismo.

A “Química da radiação” (designação incorrecta vulgarmente utilizada para o que poderia chamar-se de “Química dos efeitos das radiações”), ou o estudo dos efeitos químicos da radiação ionizante, não se confunde (embora por vezes a fronteira seja ténue) com a “Fotoquímica” (que estuda os efeitos químicos da luz, nomeadamente da ultravioleta), nem tão pouco com a “Radioquímica” (que trata da química dos elementos radioactivos e da utilização de marcadores radioactivos) ou com a “Química Nuclear” (que se preocupa com as transformações nucleares, particularmente com os produtos da fissão nuclear e com os elementos transurânicos).

O primeiro efeito químico da radiação a ser estudado foi o do escurecimento das emulsões fotográficas, quer por acção dos raios X, quer pela radioactividade natural, levados a cabo por Roentgen, em 1895, e por Becquerel, no ano seguinte, respectivamente. Seguiram-se os famosos estudos de Marie e Pierre Curie, incluindo a descoberta e o isolamento do polónio e do rádio, que desencadearam um interesse crescente por estes fenómenos, tendo-se desenvolvido estudos das suas acções a vários níveis, desde a água e soluções aquosas, passando pelas reacções de polimerização, até aos gases e compostos orgânicos.

A Segunda Guerra Mundial iniciou uma nova era para esta área do conhecimento, ao permitir a construção do primeiro reactor nuclear e a consequente disponibilização de isótopos radioactivos, assim como a construção de aceleradores de partículas e a utilização de energia atómica. O reconhecimento da presença de radicais (corrente e genericamente adjectivados de “livres”, quando apenas o são os que têm um tempo de vida suficientemente longo) na matéria irradiada em breve trouxe ao primeiro plano da investigação o estudo das suas reacções (sobretudo com recurso a captos específicos daquelas espécies), rapidamente aceites como as predominantes na matéria exposta a radiação. A descoberta de reacções iónicas na matéria condensada, assim como as de ião-molécula, através de estudos de espectrometria de massa, vieram entretanto revelar a possibilidade de existência de outras vias alternativas de interpretação dos efeitos químicos das radiações ionizantes. Porém, foi o desenvolvimento das técnicas de ressonância de spin electrónico e de radiólise de impulso que permitiram a observação directa e a identificação de radicais livres, bem como a sua quantificação e o seguimento das reacções em que participam. Está assim hoje perfeitamente estabelecido que as reacções químicas desencadeadas pela interacção de radiação ionizante com a matéria podem envolver radicais livres, iões e estados excitados da matéria.

Apesar das acções das radiações ao nível biológico terem merecido atenção desde sempre, o interesse pelo seu estudo assumiu particular desenvolvimento a partir dos incidentes dramáticos de Harrisburg e Chernobyl, quase meio século após os bombardeamentos atómicos de Iroshima e Nagasaki. Abrangendo um espectro que vai dos efeitos aos níveis fisiológico e bioquímico no organismo considerado como um todo, até aos efeitos nos tecidos e à química das proteínas e dos ácidos nucleicos, todos os estudos neste campo estão essencialmente orientados para o homem e, muito em particular, para a protecção e para o tratamento das pessoas inadvertidamente expostas à radiação. E aqui se incluem não apenas os danos originados por incidentes em larga escala provocados pela acção do homem, como os referidos, mas também os resultantes da exposição à radiação natural ou os efeitos colaterais indesejados provenientes das aplicações correntes de radiação ionizante na vida de hoje - desde a esterilização bacteriana de instrumentos cirúrgicos, de órgãos para transplante ou de farmoquímicos, passando pela conservação de alimentos ou pela esterilização de insectos-praga de culturas, até à utilização das radiações nas acções médicas de diagnóstico e terapia.

Circunscrever o tema aos efeitos das radiações ionizantes que, como se disse, incluem a ultravioleta de frequência mais elevada, poderia significar que os danos biológicos

provocados pela radiação ultravioleta de baixa energia e visível ($\lambda > 320\text{nm}$) são negligenciáveis. Todavia, assim não acontece, devido à presença de fotossensibilizadores, quer no meio ambiente quer no próprio ambiente celular. Ou seja, um cromóforo primariamente excitado pela luz (fotossensibilizador) pode reagir com uma molécula não absorvente, que por isso se altera. Esta é pois uma reacção que se torna possível apenas, ou que é induzida pela interacção de moléculas com radiação óptica, dizendo-se por isso uma reacção fotoquímica. A fotossensibilização, que pode ocorrer por vários mecanismos, está assim fortemente envolvida nos efeitos da exposição natural à radiação solar, cujos riscos de agravamento são hoje já equacionados por uma possível alteração do espectro solar devido à redução do ozono na atmosfera. Porém, a própria formação do ozono nas camadas mais externas da atmosfera, assim como a sua destruição por compostos organofluorados e organoclorados correntemente utilizados (na forma de agentes pressurizantes, de refrigeração, ou de congelação) ou ainda a formação da Vitamina D no organismo humano são outros exemplos de processos fotoquímicos de enorme relevância para o ambiente e para a vida.

Consideram-se ainda dignos de nota os efeitos celulares especiais provocados por outros tipos de radiação comumente utilizados, quer em técnicas de diagnóstico e terapia, quer em equipamentos e utensílios correntes ou ainda como ferramentas de investigação nas ciências da vida. De facto, a discussão geral sobre os riscos da utilização de radiações não distingue claramente os diferentes agentes físicos envolvidos. Além disso, as abordagens ensaiadas no estudo dos efeitos químicos da radiação ionizante podem ser úteis à investigação de potenciais efeitos de outras. Estão neste grupo de radiações as ondas de rádio e as microondas que, sendo de natureza electromagnética, envolvem no entanto frequências muito mais baixas do que as ultravioleta e Raios X. Estão incluídos também os efeitos associados à utilização de radiomiméticos em quimioterapia e à incorporação de radionuclidos em biomoléculas e em componentes celulares. São, finalmente, os ultrasons (com frequências compreendidas entre 2×10^4 Hz e 10^7 Hz), que constituem um caso particular, na medida em que não têm natureza electromagnética, nem tão pouco são considerados como radiação segundo a definição mais corrente desta. Todavia, as questões levantadas pela sua acção são muito semelhantes às colocadas pela radiação ionizante, podendo utilizar-se aproximações experimentais semelhantes para o estudo dos seus efeitos biológicos.

Sem dúvida, um dos maiores sucessos da investigação radiobiológica cuja importância para a vida é difícil exagerar constitui a descoberta de que as células são capazes de

reparar danos causados por radiação ionizante, ao nível do seu genoma. Dos vários mecanismos conhecidos (particularmente em microrganismos, mas também em células de mamíferos) avulta, pela sua importância e pela extensão do seu estudo, a “reparação por excisão” que, aliás, não é exclusiva dos danos provocados pela radiação, sendo antes responsável pela eliminação de todas as espécies de lesões do DNA celular. É necessário, no entanto, fazer a distinção entre “reparação” e “recuperação”, dois termos frequentemente utilizados como sinónimos. Assim, reserva-se o primeiro para o caso de se tratar de processos bem definidos ao nível molecular, em que o mecanismo de remoção do dano pode ser identificado, ou, pelo menos, inferido. Por outro lado, prefere-se a designação de “recuperação” quando apenas é detectada uma redução dos efeitos da radiação ao nível de alterações nas propriedades ou funções celulares, sem que se conheça o mecanismo molecular subjacente.

O estabelecimento de normas de protecção dos indivíduos e da população, como um todo, dos efeitos deletérios da radiação constitui naturalmente um dos objectivos mais prementes, ao nível da aplicação, de toda a investigação neste domínio. Dizem respeito unicamente às fontes de radiação criadas pelo homem, ditas por isso antropogénicas, estando absolutamente excluída a componente natural da radiação ionizante. Estas regras baseiam-se em determinados conceitos e experimentações radiobiológicas, cujos resultados, na sua maioria, não podem todavia ser directamente aplicados. Esta limitação advém, sobretudo, do facto de as doses de radiação utilizadas estarem muito para além dos níveis aceitáveis em termos de protecção, tendo por isso de fazer-se extrapolações. Assim, são regularmente publicadas recomendações pela “International Commission on Radiological Protection” (ICRP), que constituem a base da legislação sobre a matéria da maioria dos países.

Na sequência do que foi exposto deve realçar-se que, para além da vertente com forte impacto na vida e que, por ter o homem como centro, domina os estudos neste campo, a interacção da radiação com os sistemas biológicos é, *de per se*, um assunto aliciante para vários domínios da Ciência. De facto, ela envolve, de uma forma coerente e articulada, aspectos fundamentais da Física, da Química e da Biologia, constituindo um exemplo paradigmático do esbatimento de fronteiras entre as várias ciências em favor de um conhecimento único e integrado, através da abordagem interdisciplinar de um tema com especial impacto para o mundo vivo. Há pois, nestes estudos, uma confluência de vários ramos do saber que, por sua vez, ganham desenvolvimentos no seu foro específico como

fruto da aludida sinergia. São exemplo disso as novas aproximações na Física (como a microdosimetria) trazidas pelo conhecimento de determinados aspectos dos efeitos biológicos das radiações, ou os benefícios do estudo dos efeitos das radiações em sistemas químicos na obtenção de informações fundamentais à compreensão dos mecanismos das reacções químicas e da sua cinética, particularmente das que envolvem iões e radicais. Acresce o exemplo da Radioecologia, ou o estudo da radiação no ambiente que, ao pretender avaliar o risco biológico associado aos vários níveis de exposição a partir de dados radiobiológicos, desenvolveu modelos matemáticos de cálculo insuperáveis em sofisticação por quaisquer outros com impacto ambiental. De facto, estes modelos, de cuja fiabilidade depende o estabelecimento de normas internacionais de protecção do homem dos efeitos nocivos da radiação, surgiram como a única forma de aproximação possível da estimativa do risco, obviando à impossibilidade do conhecimento completo de todas as vias de transferência e de interacção da radiação na ecosfera.

I - OBJECTIVOS GERAIS DA DISCIPLINA

Em primeiro lugar, há que ter em atenção que se trata de uma disciplina de opção, à qual estão atribuídos 2 créditos, destinada a alunos do ramo de Biotecnologia da licenciatura em Biologia. Assim, o programa proposto tem como objectivo essencial abrir novas perspectivas aos estudantes sobre as questões postas pela exposição natural e inadvertida a radiações ionizantes ou pela utilização deliberada das mesmas, ainda que em nome da melhoria da qualidade de vida do homem e, em particular, da sua saúde. Não constitui objectivo, pois, formar especialistas na matéria, nomeadamente em termos operacionais, aliás fora do âmbito de acção mais corrente do biólogo. Antes, com um propósito de enriquecimento cultural sobre um tema de grande actualidade e impacto na vida quotidiana de hoje, pretende-se facultar aos estudantes os conhecimentos científicos de base suficientes para a compreensão dos fenómenos subjacentes às acções da radiação, a fim de lhes permitir uma avaliação fundamentada dos riscos envolvidos na sua utilização, frequentemente desacompanhada ou até inconsciente. Espera-se pois que, das novas capacidades de apreciação e de reflexão sobre o tema, surja uma consciência esclarecida, porque informada, capaz de ponderar benefícios e riscos, mobilizadora ou pelo menos potenciadora de novos comportamentos e intervenções activas na sociedade.

Em segundo lugar, há que atender a que a presente cadeira, para além de estar inserida no último semestre do curso, tem um carácter de seminário. Assim, não envolve com tanta acuidade as preocupações comuns às disciplinas de formação geral dos primeiros semestres, no que diz respeito à aquisição de conhecimento ao nível cognitivo e no campo operativo numa área científica estruturante do pensamento e do raciocínio crítico, conducentes à construção de uma matriz de referência sólida, porém flexível, ou seja, enquadradora de futuros desenvolvimentos da ciência fundamental e aplicada nesse domínio.

Neste contexto, favorecido ainda pela natureza da disciplina em causa, as diversas rubricas do programa que se apresenta poderão ser tratadas de forma diversa, quer em termos de profundidade, quer, sobretudo, em termos de metodologias de ensino/aprendizagem (adiante explicitadas), que requerem trabalho individual e trabalho em equipa e que podem constituir formas de desenvolvimento ou aperfeiçoamento de outras competências dos alunos.

Constituem pois também objectivos da disciplina proporcionar aos estudantes oportunidades para, de forma orientada e acompanhada dentro dos tempos lectivos

previstos, melhorar a sua capacidade de pesquisa e exploração de fontes bibliográficas, apurando critérios de selecção e de análise de material, com vista quer à apreensão de conceitos (e respectivos desenvolvimentos) de pontos específicos da matéria consignada no programa, quer à sua utilização na construção das suas próprias formas de comunicação. Naturalmente que tais objectivos não dispensam, antes exigem tempo extra-horário e esforço de meditação, estudo e elaboração mental ao nível individual.

Espera-se assim que a disciplina possa contribuir para a obtenção de um maior grau de maturidade científica dos estudantes, quer ao nível da procura, manuseamento e da apreciação crítica da bibliografia (encarada não como um acessório de consulta, mas como instrumento obrigatório do processo de aprendizagem e formação em ciência), quer ao da sua capacidade de expressão escrita e oral, nos modelos habitualmente utilizados pela comunidade científica.

Merece especial referência o facto de a parte experimental envolvida no tema seleccionado para a disciplina ser de difícil execução nas condições existentes na Universidade dos Açores. Assim, sob a designação de aulas teórico-práticas, foi concebido um conjunto de tempos lectivos preenchidos com actividades de diversa natureza, que se destinam a facilitar a abordagem da matéria do seminário, essencialmente teórica, sensibilizando e familiarizando os estudantes com alguns dos seus aspectos de cariz mais prático, dentro das limitações existentes. Assim, estas aulas incluem a resolução de problemas, uma introdução aos vários tipos de detectores de radiação (se possível, com observação de operação) e respectivas utilizações e ainda dois trabalhos de laboratório.

Nestas circunstâncias, optou-se por apresentar um Programa único para a disciplina (sem o destaque habitual de um programa prático ou teórico-prático, a par de um programa teórico da mesma), tendo-se integrado a rubrica respeitante às aulas teórico-práticas nos Métodos de Ensino/Aprendizagem do presente documento.

II - PROGRAMA, CONTEÚDOS E BIBLIOGRAFIA DE APOIO

1. Rubricas programáticas seleccionadas - delineamento e perspectivas gerais de abordagem

O programa da disciplina é iniciado por uma INTRODUÇÃO, que permitirá uma primeira focalização do tema em causa, a definição do seu âmbito de estudo, da sua natureza e formas de abordagem, assim como da relevância do mesmo para a vida, sob o ponto de vista ecológico e particularmente para o homem.

Segue-se o CAPÍTULO I sobre “Tipos de radiação - caracterização e fontes” que abrange, com o desenvolvimento mínimo indispensável, mas recorrendo aos conceitos físicos prementes, a definição dos vários tipos de radiação a que estão submetidos os seres vivos (em particular, o homem), as características físicas fundamentais de cada uma das radiações ionizantes, bem como as respectivas fontes e formas de produção. Dá-se uma especial atenção à radioactividade natural e artificial (e respectivas aplicações), uma matéria habitualmente não tratada ao nível da formação inicial dos cursos de Biologia (e mesmo de muitos de Química), mas cujos riscos associados para a vida acabam frequentemente por ser os únicos que sobressaem na discussão pública dos efeitos nocivos das radiações.

O CAPÍTULO II- “Aspectos físicos e químicos da interacção da radiação com a matéria”, como o nome indica, pretende realçar os vários tipos de interacção susceptíveis de provocar alterações nos sistemas biológicos. Assim, por um lado, são definidos os principais fenómenos físicos subjacentes à interacção de fotões e de partículas com a matéria, decorrentes da transferência e da deposição de energia da radiação ionizante. Por outro, são postas em evidência as várias espécies químicas formadas (particularmente os radicais) e as reacções químicas originadas pela sua difusão, assim como os produtos da irradiação e da pós-irradiação da matéria.

Um sub-capítulo final diz respeito às reacções fotoquímicas, que representam formas de interacção da radiação com a matéria distintas das operadas pela radiação ionizante e que são aqui inseridas apenas na medida em que são relevantes para a compreensão dos processos biológicos. Assim, e após a exposição dos seus fundamentos, que permitirá a distinção clara entre a fotoquímica e a química dos efeitos da radiação, inclui-se a

descrição dos mecanismos básicos da fotossensibilização e algumas reacções fotoquímicas com significado para o ambiente e para o metabolismo do homem.

Concluídos os capítulos considerados como preparatórios do núcleo central do programa, os efeitos biológicos das radiações propriamente ditos são tratados no CAPÍTULO III- “Efeitos das radiações ionizantes nos sistemas vivos”. São pois elencados, num primeiro sub-capítulo, os efeitos das radiações nas biomoléculas, antecidos pela radiólise da água, que constitui afinal o principal componente de toda a matéria viva. Segue-se o 2º sub-capítulo referente às alterações da capacidade reprodutiva das células e do seu material genético. O 3º e 4º sub-capítulos dizem respeito à descrição das reacções do organismo como um todo, quer as agudas ou imediatas à exposição quer os efeitos somáticos tardios provocados pelas radiações ionizantes. São particularmente focadas a formação de cataratas e a carcinogénese, um dos principais temas da investigação biológica e médica dos nossos dias. De facto, as pesquisas radiobiológicas neste domínio são importantes, não apenas para delinear a extensão e os limites de possíveis riscos da utilização das radiações, mas também para explorar os mecanismos gerais subjacentes à formação de tumores. O 5º sub-capítulo aborda particularmente os efeitos da radiação na descendência do indivíduo exposto, quer na primeira, quer nas gerações seguintes. Focam-se as perturbações na fertilidade e a sua diferente relevância conforme o sexo, a morte intra-uterina e a teratogénese. Sobre as alterações genéticas, que constituem sem dúvida um dos maiores riscos da exposição à radiação, a discussão está particularmente centrada sobre os efeitos de pequenas doses ou de pequenas doses recebidas a baixa frequência. Sendo naturalmente escassos os dados disponíveis em humanos, são apresentados os estudos desenvolvidos em animais de laboratório, nomeadamente em roedores.

E pelo significado para a biologia que assumem, o sub-capítulo final trata dos aspectos gerais da recuperação de um organismo e de uma visão geral dos mecanismos de reparação dos danos provocados pela radiação, particularmente em microrganismos.

O CAPÍTULO IV - “Efeitos celulares de outras radiações” incluirá um primeiro sub-capítulo sobre os efeitos da radiação visível e UV de baixa energia (UV-A), cujos primeiros estudos foram realizados em bactérias. Faz-se referência também a trabalhos mais recentes em células de mamíferos, cuja sensibilidade à radiação UV-A é consideravelmente maior do que a daqueles microrganismos. O 2º sub-capítulo diz respeito aos possíveis efeitos de outros tipos de radiação como as radiofrequências e as

micro-ondas, cujo modo de acção é consideravelmente diferente do da radiação ionizante e mesmo da óptica, já que envolve a indução de campos eléctricos ou magnéticos. Aborda-se também a utilização dos ultrassons e os seus efeitos primários de aquecimento local, pressão local e “cavitação” que, quando ocorre com grande intensidade, causa a rotura de estruturas moleculares e supra-moleculares. O 3º sub-capítulo faz uma referência breve à incorporação de radionuclidos em biomoléculas e componentes celulares, cuja retenção por longos períodos cria condições específicas de exposição bastante diferentes da irradiação externa. Faz-se ainda uma pequena alusão à utilização de substâncias químicas com efeitos celulares semelhantes aos da radiação (radiomiméticos), nomeadamente na terapia de tumores.

O programa da disciplina termina com o CAPÍTULO V – “Protecção dos seres humanos dos efeitos das radiações e aplicações das radiações no diagnóstico e na terapêutica médica”, que diz respeito aos princípios gerais e aos aspectos práticos relativos à protecção do homem das radiações artificiais nas suas aplicações mais importantes, nomeadamente nas acções médicas de diagnóstico e terapêutica.

2. Programa e conteúdos

Apresenta-se, de seguida, o programa proposto e respectivos conteúdos para 60 sessões de 50 minutos, incluindo as provas de avaliação. Está anotada, à margem do texto, a distribuição prevista da matéria pelas 23 sessões lectivas de carácter expositivo. Estão assinaladas igualmente as rubricas a explorar através de artigos (EA) e as que serão apresentadas pelos estudantes em trabalho monográfico ou de divulgação (T).

AULAS

- 1 Apresentação geral do programa e seus objectivos, bibliografia recomendada e metodologia de avaliação da disciplina

INTRODUÇÃO

- 2 Química dos efeitos da radiação, Fotoquímica, Radioquímica e Química nuclear – conceitos e âmbitos de estudo. Efeitos das radiações ionizantes – perspectiva histórica, importância do seu estudo e trabalhos fundamentais.

AULAS

CAPÍTULO I – TIPOS DE RADIAÇÃO – CARACTERIZAÇÃO E FONTES

3 **1. Tipos, caracterização e fontes de radiação**

Radiação óptica e radiação ionizante.

Caracterização e fontes de radiação ionizante – radiação electromagnética (Raios X e raios γ), partículas carregadas leves (radiação de electrões e partículas β), partículas carregadas pesadas (partículas α , protões, deuterões e fragmentos de fissão), neutrões, radiação de rector (ou de pilha) e radioactividade induzida.

2. Radioactividade

4 **2.1. Breve história da radioactividade**

A descoberta de Becquerel. Os trabalhos de Marie e Pierre Curie.

Caracterização primitiva das emissões radioactivas (emissão- α , emissão- β e emissão- γ).

A hipótese da transformação de Rutherford e Soddy.

A importância dos estudos sobre a radioactividade para a descoberta da estrutura do átomo.

5 **2.2. Decaimento radioactivo**

Decaimento (desintegração) radioactivo (λ). Lei exponencial do decaimento radioactivo e aspectos estatísticos da radioactividade. Constante de decaimento (de desintegração). Semi-vida e actividade de um nuclido. Unidades de radioactividade.

5-6 **2.3. Radioactividade natural e radioactividade artificial**

Substâncias radioactivas naturais. As séries radioactivas (urânio, tório e actínio). Outras radioactividades naturais. Os isótopos radioactivos dos elementos e as suas aplicações.

A produção artificial de substâncias radioactivas – breve história.

AULAS

Tipos de decaimento radioactivo – decaimento - α , decaimento β (normal, com emissão de positrão e com captura electrónica) e fissão espontânea.

Elementos sintéticos e a série $4n + 1$.

Elementos super-pesados.

7 **2.4. A energia atómica e as suas aplicações**

A produção de energia atómica e as suas aplicações. Riscos inerentes à utilização da energia atómica.

CAPÍTULO II – ASPECTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DA INTERACÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

1. Aspectos físicos da interacção da radiação com a matéria

8-9 1.1 Tipos de interacção da radiação com a matéria

Excitação e ionização.

Interacção da radiação óptica com a matéria.

Interacção das radiações de fotões e de partículas leves com a matéria

Interacção de fotões – dispersão elástica, efeito de Compton, efeito fotoeléctrico, efeito Auger e formação de pares.

Interacção de electrões – colisões com electrões orbitais, raios X Bremstrahlung e radiação Cerenkov.

Interacção de partículas pesadas com a matéria.

Interacção de neutrões e de partículas carregadas pesadas.

9-10 1.2. Transferência e deposição da energia

Aspectos gerais.

Transferência e deposição da energia de radiação ionizante.

Capacidade de penetração (alcance) da radiação.

Exposição e dose. Fluência. Unidades de radiação.

Curvas de dose. Transferência linear de energia (LET).

AULAS

11-12 2. Aspectos químicos da interacção da radiação com a matéria

A formação de espécies químicas primárias, em particular de radicais.

Formação de espécies químicas secundárias.

Reacções das espécies difundidas.

Produtos de pós-irradiação.

Rendimento de radiação química (valor G).

Captadores de radicais.

Produtos primários e secundários da irradiação.

Efeitos directos e indirectos da radiação.

12-13 3. Elementos de fotoquímica

Características gerais das reacções fotoquímicas.

Fotossensibilização. Tipos de interacção do sensibilizador. A influência do oxigénio.

Reacções fotoquímicas com interesse particular -formação de ozono, destruição de ozono e formação da vitamina D.

CAPÍTULO III – EFEITOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NOS SISTEMAS VIVOS

1. Efeitos das radiações sobre as biomoléculas

14 1.1 Aspectos gerais

Efeitos estocásticos e efeitos determinísticos.

Radiólise da água, na ausência e na presença de oxigénio.

Efeitos imediatos (agudos) e reacções tardias.

Inactivação celular. Fracção de sobrevivência. Radiossensibilidade.

Acção directa e acção indirecta da irradiação de soluções de moléculas biológicas.

AULAS

EA 1.2. Efeitos específicos

Efeitos ionizantes nos ácidos nucleicos.

Efeitos ionizantes nos lípidos.

Efeitos ionizantes nas proteínas.

Efeitos ionizantes nos glícidos.

15-16 2. Alterações da capacidade reprodutiva das células e do material genético

A sobrevivência da célula, em termos radiobiológicos, como a sua capacidade para se reproduzir indefinidamente.

Atraso da divisão celular e possível mecanismo.

Efeitos provocados no núcleo pelas radiações ionizantes.

Radiossensibilidade de um tecido e sua relação com a actividade de proliferação e com o grau de diferenciação das células.

Curvas de sobrevivência. Influência da natureza e da densidade da radiação ionizante.

As aberrações cromossómicas como alterações citológicas provocadas pelas radiações ionizantes. As aberrações cromossómicas como critério de dano letal celular.

Mutações provocadas pelas radiações.

EA 3. Reacções agudas provocadas pelas radiações ionizantes

Factores determinantes das lesões provocadas pelas radiações: radiossensibilidade do tecido, dose absorvida e sua distribuição no tempo e no espaço. Modificação da radiossensibilidade de um organismo – efeito do oxigénio, efeito da temperatura e efeito de produtos químicos.

Síndromes da radiação e letalidade. LD₅₀.

Lesões provocadas ao nível da pele, das gónadas, dos tecidos bucais, do olho, do sistema

hematopoiético (em particular no eritrócito), do sistema gastro-intestinal e do sistema nervoso central.

Irradiação do corpo inteiro – fase inicial, fase de latência, fase crítica e fase de recuperação ou de morte.

AULAS

EA 4. Efeitos somáticos tardios das radiações ionizantes

A formação de cataratas.

Diminuição do tempo de vida.

Carcinogénese- Aspectos gerais. A teoria dos dois estados.

Carcinogénese por acção de radiação óptica.

Carcinogénese por acção da radiação ionizante.

17-18 5. Efeitos das radiações ionizantes na descendência

Efeitos na fertilidade. O desenvolvimento das células germinais e a sua diferente afectação e capacidade de recuperação conforme o sexo.

Efeitos da radiação pré-natal no embrião e a sua dependência do tempo de exposição nas diferentes fases da gravidez.

Efeitos teratogénicos e efeitos no desenvolvimento pós-natal.

Efeitos genéticos. O possível risco da radiação em pequenas doses ou em pequenas doses a baixa frequência. Estudos em animais de laboratório e seus métodos.

19 6. Recuperação e reparação dos danos provocados pela radiação

Aspectos gerais e conceitos.

Recuperação dos danos potencialmente letais. Recuperação dos danos sub-letais.

Processos de reparação – visão geral. Reparação por excisão. Reparação pós-replicação.

CAPÍTULO IV – EFEITOS CELULARES DE OUTRAS RADIAÇÕES

20 1. Efeitos das radiações visível e ultravioleta de baixa energia

A inactivação de bactérias por radiação UV-A

O papel dos fotossensibilizadores, nomeadamente do oxigénio.

Estudos em células de mamíferos e a sua maior sensibilidade à radiação UV-A.

O carácter mutagénico da radiação UV-A.

AULAS

21 **2. Efeitos de outros tipos de radiação**

Radiofrequências (RF) e micro-ondas (MW) – definição e aplicações. A indução de campos eléctricos e magnéticos e suas consequências. A não existência de efeitos específicos das RF e MW ao nível celular.

Ultra-sons – definição e aplicações. Efeitos primários dos ultra-sons: aquecimento local, pressão local e “cavitação”.

22 **3. A utilização de radionuclidos e de radiomiméticos**

A incorporação homogénea de radionuclidos e a incorporação de radionuclidos em biomoléculas – aplicações e respectivos efeitos. Tempo de retenção e semi-vida biológica.

Radiomiméticos – conceito, exemplos e aplicação na terapia de tumores.

CAPÍTULO V – PROTECÇÃO DOS SERES HUMANOS DOS EFEITOS DAS RADIAÇÕES E APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES NO DIAGNÓSTICO E NA TERAPÊUTICA MÉDICA

23 **1. Protecção dos efeitos das radiações - alguns aspectos**

Sensibilização e protecção dos efeitos nocivos das radiações ionizantes. Substâncias radioprotectoras.

Detrimento, equivalente de dose, equivalente de dose limite – conceitos e unidades.

Regras gerais e princípios da radioprotecção.

Protecção dos efeitos nocivos de radiação óptica.

T **2. Aplicações das radiações no diagnóstico e na terapêutica médica**

Fototerapia.

A utilização das radiações ionizantes no diagnóstico médico.

As radiações ionizantes na terapia de tumores.

As novas modalidades de radioterapia – melhoria da acção diferencial entre células normais e células tumorais; melhoria da eficiência biológica relativa (RBE) no tumor

e diminuição da *oxygen enhancement ratio* (OER) no interior do tumor. Combinação da radioterapia com a quimioterapia.

3. Bibliografia

Indicam-se, de seguida, as principais obras recomendadas (particularmente alguns capítulos ou parágrafos) para suporte de base à disciplina, que são livros de texto. Juntam-se algumas referências úteis para as aulas teórico-práticas e também sobre normas de segurança em laboratório. Material bibliográfico mais específico, quer ao nível de artigos para exploração da matéria das aulas teóricas ou de apoio aos trabalhos a realizar pelos alunos, será fornecido ou pesquisado pelos estudantes na altura própria.

- Kiefer, J.

Biological Radiation Effects

Springer-Verlag, Heidelberg; Berlin, N. York, 1990

Capítulos especialmente recomendados:

Types of radiation: characterization and sources, pp. 1-14

Interaction processes, pp. 34-51

Deposition of radiation energy, pp. 55-86

Elements of photo- and radiation chemistry, pp. 88-101

Loss of reproductive ability in cells, pp. 137-155

Radiosensitization and protection, pp. 157-171

Radiation and the cell cycle, pp. 175-179

Chromossome aberrations, 182-191

Repair and recovery, pp. 212-234

Special aspects of cellular radiation action, pp. 252-260

Acute radiation damage, pp.291-307

Radiation effects and progeny, pp. 309-313

Late somatic effects, pp. 319-328

Radioecology, pp. 347-360

Principles of radiation protection regulations, pp. 364-372

Radiobiology in radiation therapy, pp. 374-389

- O'Donnell, J. H. e Sangster, D. F.

Principles of Radiation Chemistry

The Chaucer Press, Lda, Bungay, Suffolk, 1970

Capítulos especialmente recomendados:

Radiation chemistry, pp. 1-5

Interaction of radiation with matter, pp. 8-21

Aqueous solutions, pp. 80-95

Radiation biology and biochemicals, pp. 128-131

- Alpen, E. L.

Radiation Biophysics

2ª edição

Academic Press, London, 1998

Capítulos especialmente recomendados:

Quantities, units, and definitions, pp. 1-10

Electromagnetic radiation: its nature and properties, pp. 11-24

Radioactivity, pp. 27-48

Interaction of radiation with matter, pp. 50-76

Radiation Chemistry, pp. 104-130

Theories and models for cell survival, pp. 132-145

Survival curve and its significance, pp. 169-192

Radiation biology of normal and neoplastic tissue systems, pp. 222-272

Late effects of radiation on normal tissues: nonstochastic effects, pp. 275-292

Stochastic effects-radiation carcinogenesis, pp. 308-340

Radiation exposure from natural background and other sources, 424-458

- Gordon Steel, G.

Basic Clinical Radiobiology

Arnold, London, 1997

Capítulos/parágrafos especialmente recomendados:

Introduction: the significance of radiobiology for radiotherapy, pp. 1-7

Proliferative and cellular organization of normal tissues, pp. 24-29

Radiation response and tolerance of normal tissues, pp. 30-39

The relationship between cell survival and gross tumour response, pp.45-51

DNA damage and cell killing, pp. 58-69

The oxygen effect, pp. 132-140

- Frielander, G., Kennedy, J. W., Macias, E. S. e Miller, J. M.

Nuclear and Radiochemistry

3ª edição

John Wiley & Sons, NewYork, Toronto, 1981

- *Principles and techniques of Biochemistry and Molecular Biology*

6ª edição

K. Wilson. e J.Walker (ed)

Cambridge University Press, Cambridge, 2005

Capítulo especialmente recomendado:

Radioisotope techniques, pp.621-664

- Connor, K. J. e McLintock, I., S.

Radiation protection Handbook for Laboratory Workers

HHSC, Leeds, 1994

- *NATO Handbook on the medical aspects of NBC defensive operations AMedP-6(B)*

Army Field Manual 8-9, Departments of The Army, The Navy, and The Air Force,
Washington D.C., 1996

<http://www.fas.org/nuke/guide/usa/doctrine/dod/fm8-9/1ch5.htm>

Capítulo especialmente recomendado:

Biophysical and biological effects of ionizing radiation

III - MÉTODOS DE ENSINO/APRENDIZAGEM

1. Organização e objectivos das sessões lectivas

O programa proposto será cumprido num tempo máximo de 60 horas lectivas de 50 minutos cada, as quais serão repartidas por:

- a) sessões expositivas
- b) sessões de exploração e apresentação de artigos pelos estudantes (em grupo)
- c) sessões de síntese da matéria explorada através de artigos
- d) aulas teórico-práticas (em grupo)
- e) teste de avaliação dos principais pontos da matéria
- f) sessões de preparação, apresentação oral e discussão de monografia ou de trabalho de divulgação (individual)

As aulas expositivas destinam-se essencialmente a facultar aos estudantes os conhecimentos científicos julgados fundamentais para a exploração e compreensão da matéria que constitui o núcleo central do programa - os efeitos biológicos das radiações. Contemplam também alguns pontos do programa que se pretendem abordados apenas nos

seus aspectos essenciais, objectivo dificilmente conseguido por exploração de artigos no tempo de que se dispõe para tal. Abrangem ainda a rubrica, de carácter mais informativo, sobre conceitos e normas de protecção das radiações.

Assim, fará obrigatoriamente parte das sessões expositivas a matéria contida na Introdução e nos Capítulos I, II e IV, assim como o parágrafo 1.1. do sub-capítulo 1, os sub-capítulos 2, 5 e 6 do Capítulo III e o sub-capítulo 1 da Capítulo V.

As aulas teórico-práticas destinam-se a sensibilizar os estudantes para os conteúdos da disciplina e a familiarizá-los com aspectos mais práticos ligados à utilização, detecção e medição das radiações e seus efeitos.

O parágrafo 1.2. do sub-capítulo 1., assim como os sub-capítulos 3 e 4 do Capítulo III serão explorados através de artigos distribuídos aos estudantes, que poderão incluir artigos de revisão. Pretende-se que, com esta metodologia, os estudantes tenham um contacto mais directo com esta forma de comunicação científica, ou seja, a sua estrutura,

o tipo de informação que pode proporcionar e as respectivas limitações. A análise de artigos constituirá pois, não apenas uma forma de abordagem dos conteúdos previstos no programa, mas também um meio de percepção das metodologias experimentais envolvidas, dos modos de apresentação e discussão de resultados, em suma, será um veículo de aprendizagem e de apuramento de critérios para a elaboração de artigos científicos pelo estudante de um curso vocacionado para a investigação.

A sessão de apresentação com que culmina a exploração de um artigo obriga a que o aluno exercite e melhore as suas capacidades de selecção e de síntese da matéria relevante para uma exposição deste tipo (substancialmente diferente da de outras apresentações), para além da sua própria forma de expressão oral.

Seguir-se-ão sessões de síntese da matéria assim tratada (a cargo do docente, com participação dos estudantes), que poderão incluir também alguns aspectos não tratados ou insuficientemente tratados pelos artigos seleccionados, de forma a abranger todos os pontos descritos no programa.

A matéria do Capítulo V (em especial a do sub-capítulo 2) é particularmente passível de ser abordada através da elaboração de trabalhos de divulgação ou monográficos pelos estudantes, o que não exclui a possibilidade de escolha de temas (nomeadamente para monografias) no âmbito de outros capítulos do programa.

A escrita de um trabalho monográfico ou de um trabalho de divulgação deve ser orientada no sentido de não se limitar a uma forma de “reprodução” da matéria (frequentemente sem critério, porque pouco “digerida”) das fontes bibliográficas indicadas ou até pesquisadas pelo estudante. Desde logo, há que fazer notar que a investigação bibliográfica, sobretudo através de “sites” gerais da INTERNET, exige cuidados redobrados de aferição da respectiva qualidade, sabendo-se que, de facto, não há qualquer rastreio prévio que a assegure. Em segundo lugar, o texto deve ser encarado como o resultado de um esforço particular de construção por parte do estudante que, a partir do estudo e reflexão sobre o tema, seja capaz de seleccionar os materiais e desenhar a estrutura lógica do trabalho que os contemple. E aqui, há que ter em consideração o modelo escolhido, que também condiciona a profundidade com que o tema é tratado, a linguagem utilizada e até a grafia, conforme se trate de uma monografia ou de um texto de divulgação. Na realidade, um trabalho de qualidade dentro deste último tipo é frequentemente mais difícil de conseguir do que o primeiro, já que, sem atraindo o rigor com que a matéria científica é apresentada, deve ser apelativo para um público menos conhecedor ou informado, mas interessado pelas “coisas” da ciência.

A apresentação do trabalho escrito, em forma de comunicação oral ou de painel, para além de envolver a aprendizagem ou o aperfeiçoamento da preparação destas formas de comunicação, permite a sua discussão e oportunidade de exercitar a capacidade de intervenção dos outros estudantes, o que se considera igualmente como tendo valor formativo.

1.1. Sessões expositivas

Número de horas lectivas: 23-25 h

As sessões expositivas constituirão aulas teóricas no sentido tradicional, acompanhadas de apresentações em transparências ou projecções em “Power Point” ou vídeo temático.

Terão lugar em 2 blocos:

- bloco I – 14h (matéria da Introdução, dos Capítulos I, II e parágrafo 1.1 do Capítulo III)
- bloco II – 9h (sub-capítulos 2, 5 e 6 do Capítulo III, Capítulo IV e sub-capítulo 1 do Capítulo V)

1.2. Sessões de exploração e apresentação de artigos

Número de horas lectivas: sessões de exploração e preparação de apresentação .. 9h
sessões de apresentação 5h
Total 14h

Todos os artigos pré-seleccionados pelo docente sobre a matéria já indicada serão disponibilizados aos estudantes no primeiro dia de aulas.

Cada grupo (de 2 ou 3) ficará encarregado de apresentar um artigo ou uma parte dele em particular. Todavia, a cada um, e de acordo com a sua complexidade, serão dedicadas entre uma a duas horas lectivas para exploração conjunta, de acordo com um “guião” apresentado pelo docente, de forma a promover a participação de todos os estudantes, com orientação do docente. Dependendo do número total de estudantes da disciplina, prevê-se o preenchimento de 8 a 10 horas nas sessões de exploração.

Cada apresentação de artigo (ou parte) terá uma duração compreendida entre 20 e 25 minutos (incluindo um curto período para pedidos de esclarecimento ou para

colocação de questões pelos outros grupos ou pelo docente), perfazendo 4 ou 5 horas a totalidade das apresentações (conforme o número de alunos inscritos).

1.3. Sessões de síntese da matéria explorada através de artigos

Número de horas lectivas: 2h

Após a exploração e a apresentação dos artigos, e também em resposta às necessidades de complementação dos pontos do programa correspondentes, o docente apresentará uma exposição de síntese dos aspectos mais relevantes, de modo a permitir uma melhor sistematização dos conhecimentos envolvidos.

1.4. Aulas teórico-práticas

Número total de horas lectivas: 8-9h (3x2h + 2-3h)

Será considerada a distribuição dos estudantes por grupos (de 2 ou 3), os mesmos que foram constituídos para a exploração e apresentação de artigos, quer para a resolução de problemas quer para as restantes actividades.

Sobre cada trabalho de laboratório, cada grupo elaborará um relatório sucinto (que englobará a definição de objectivos, metodologia utilizada, apresentação de resultados e respectiva discussão).

Actividades propostas

1ª aula – Resolução de problemas

Será previamente distribuído um conjunto de enunciados de problemas sobre a interacção da radiação com a matéria e sobre decaimentos radioactivos, que os alunos resolverão em grupo durante a aula, reservando-se a última parte desta para a apresentação dos resultados por cada grupo e respectiva correcção.

2ª aula

Detecção e medição de radiação

Será feita uma breve apresentação sobre os princípios dos métodos de detecção e medição de radioactividade (ionização de gás e excitação) e respectivos equipamentos (contadores de Geiger-Müller e contadores de cintilação). Se possível, será feita a observação directa de equipamentos. Em alternativa, recorrer-se-á à sua apresentação através de um vídeo ou de um programa da Internet.

A última parte da aula será reservada para apresentar (ou rever) os procedimentos de segurança em laboratório que opera com fontes de radiação ionizante.

3ª aula

Medição da radioactividade ambiental ou da radioactividade de um produto alimentar

O trabalho será realizado em colaboração com a instituição regional responsável pela monitorização da radioactividade ambiental e de produtos alimentares, segundo os protocolos oficiais definidos para o efeito.

4ª aula (2 sessões)

Efeito da radiação ultravioleta no crescimento de microrganismos

Pretende-se estudar o efeito no crescimento de microrganismos (cultivados em placas de Petri) da sua exposição a radiação ultravioleta durante diferentes tempos, por comparação com o ocorrido numa placa de controlo (cultura não irradiada). A definição do momento da irradiação das culturas será feita a partir do conhecimento da curva de crescimento do microrganismo, previamente estabelecida.

A avaliação dos resultados incluirá o traçado (esboço) da respectiva curva de sobrevivência.

O trabalho será realizado em colaboração com a Secção de Microbiologia do Departamento de Biologia da Universidade dos Açores.

1.5. SESSÕES DE PREPARAÇÃO, APRESENTAÇÃO ORAL E DISCUSSÃO DE MONOGRAFIA OU DE TRABALHO DE DIVULGAÇÃO (INDIVIDUAL)

Número de horas lectivas: sessões de preparação - 6h

sessões de apresentação oral e discussão - 5h

Total - 11h

No início do semestre serão apresentadas sugestões de temas, particularmente no âmbito do Capítulo V. Sobre cada modalidade de trabalho escrito e de apresentação oral será fornecida a informação relevante para a sua elaboração, que incluirá os objectivos pretendidos, a extensão, normas de escrita e tempos de apresentação, assim como os aspectos a valorizar na sua avaliação e a respectiva cotação.

Dependendo da natureza do tema e da sua preferência, cada estudante escolherá a modalidade de trabalho escrito a desenvolver (monografia ou trabalho de divulgação), que terá uma extensão média de 20 páginas A₄.

De igual forma, cada aluno optará pela sua forma de apresentação oral - comunicação ou painel (com curta apresentação oral).

Em qualquer circunstância, a prova terá uma duração máxima de 15 minutos, seguida de discussão por 5 a 10 minutos.

Para a preparação de cada trabalho, poderá ser disponibilizada alguma bibliografia fundamental, pretendendo-se, todavia, que o estudante seja capaz de a pesquisar por si, nomeadamente recorrendo à INTERNET, cujo acesso (inclusivamente a revistas *on line*) lhe é facultado pela Universidade dos Açores. Será para isso requisitada uma das salas de informática, com equipamento suficiente para o número de alunos que frequentam a disciplina.

Assim, as sessões dedicadas à preparação dos trabalhos destinam-se, essencialmente, a procurar, seleccionar, recolher e “desbravar” a bibliografia a utilizar, de forma a permitir a compreensão, selecção e organização das matérias adequadas à construção do trabalho. Cabe ao docente orientar, esclarecer dúvidas ou encaminhar os estudantes para a sua resolução.

A escrita do trabalho, propriamente dita, assim como a preparação da sua apresentação, serão necessariamente resultantes do trabalho individual de cada estudante, que recorrerá possivelmente a algum tempo extra para o concluir.

As sessões destinadas à preparação e apresentação das monografias e dos trabalhos de divulgação deverão ter lugar, de preferência, após a conclusão dos blocos expositivos, das aulas teórico-práticas e das sessões de exploração de artigos e de síntese. Crê-se que, nestas circunstâncias, os estudantes não só estarão apetrechados com o conhecimento de base suficiente para lhes permitir um melhor acesso e aproveitamento desta parte do programa, como terão maior disponibilidade de entrega, já que as outras provas de avaliação da disciplina estarão concluídas.

1.6. Teste de avaliação

Número de horas lectivas: 2h

Será realizado um teste de avaliação sobre os aspectos fundamentais da matéria a que diz respeito o Programa até ao final do Capítulo IV. Pretende-se, assim, que o núcleo central da matéria seja avaliado antes do início da elaboração das monografias ou dos trabalhos de divulgação.

2. Distribuição da matéria pelos vários tipos de sessões

Apresenta-se de seguida a seriação das aulas, de acordo a ordenação que se julga mais conveniente dos vários tipos de sessões consideradas para o cumprimento do Programa e para a avaliação dos estudantes. Embora apresentadas separadamente, a fim de indicar o número respectivo de horas lectivas atribuídas, as aulas teórico-práticas serão intercaladas, dentro do possível, com as sessões expositivas do Bloco I, realizando-se uma aula de duas horas por semana (sendo a última, com uma duração de 2 a 3 horas, dividida em 2 sessões, por exigência do protocolo respectivo).

Naturalmente que, em cada ano, será feito o ajustamento necessário, de acordo com o calendário e horário da disciplina e com o número efectivo de horas lectivas previstas para a mesma.

Nº DA AULA	TIPO DE SESSÕES LECTIVAS	MATÉRIA
1-14	EXPOSITIVAS (BLOCO I)	INTRODUÇÃO Capítulo I, Capítulo II Capítulo III (1.1)
15-16	Aula prática	1º Trabalho
17-18	Aula prática	2º Trabalho
19-20	Aula prática	3º Trabalho
21-22	Aula prática	4º Trabalho
23-31	Exploração e preparação de apresentação de artigos	Capítulo III (1.2, 3. e 4.)
32-36	Apresentação de artigos	Idem
37-38	Síntese	Idem
39- 47	Expositivas (Bloco II)	Capítulo III (2., 5. e 6.) Capítulo IV
48-49	Teste	
50- 55	Preparação de monografia/ /Trabalho de divulgação	Capítulo V (e outros)
56-60	Apresentação oral e discussão de monografia/Trabalho de divulgação	Capítulo V (e outros)

3. Acompanhamento da disciplina e material de estudo facultado aos estudantes

Pelo que ficou exposto se depreende que, sobretudo nas aulas de exploração de artigos, assim como nas de preparação da monografia ou do trabalho de divulgação, o contacto e a disponibilidade do docente para atender os alunos está implícita ou, pelo menos, grandemente facilitada.

De qualquer forma, o docente disponibilizará uma hora de atendimento semanal aos estudantes no seu gabinete, sendo também incentivada a colocação de questões pontuais de resposta imediata através do correio electrónico.

Para além dos documentos relativos à indicação da bibliografia geral da disciplina e de alguma mais específica sobre aspectos pontuais da matéria, serão disponibilizadas fotocópias do material de apoio utilizado nas sessões expositivas e de síntese, de forma que os estudantes mais facilmente possam concentrar-se no essencial daquelas aulas, anotando os elementos necessários à elaboração dos seus próprios textos de estudo.

À semelhança do que já é prática em outras cadeiras, será organizada na Internet uma página da disciplina de “Efeitos biológicos das radiações”, que assim facilitará o acesso a toda a informação relevante sobre o programa, bibliografia e funcionamento da mesma, incluindo os critérios e os resultados das várias provas de avaliação. Contemplará igualmente o material de apoio às aulas, os artigos para exploração, os protocolos de trabalhos práticos e demais normas sobre a realização e apresentação de trabalhos.

4. Critérios de avaliação

O modo como a disciplina está organizada permite a avaliação das várias competências que se pretendem desenvolvidas pela frequência da cadeira, pretendendo-se que a classificação final de cada estudante seja o resultado de um trabalho continuado ao longo do semestre, maioritariamente realizado nas sessões lectivas, quer ao nível de grupo, quer ao nível individual.

São os seguintes os elementos de avaliação e respectiva ponderação na nota final da disciplina:

- a) teste escrito sobre os pontos mais relevantes da matéria teórica (35%)
- b) execução, participação e relatórios dos trabalhos práticos (15%)
- c) apresentação de artigo (15%)
- d) texto e apresentação oral de trabalho monográfico ou de divulgação (35%)

A avaliação da última prova tem implícita a repartição da respectiva classificação por vários itens:

- elaboração do texto (20%)
- apresentação oral e discussão ($10\%+5\%=15\%$)

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
1. Enquadramento, natureza e orientação geral da disciplina	2
2. Sobre a natureza e o interesse do tema.....	3
I - OBJECTIVOS GERAIS DA DISCIPLINA.....	9
II - PROGRAMA, CONTEÚDOS E BIBLIOGRAFIA DE APOIO	11
1. Rubricas programáticas seleccionadas - delineamento e perspectivas gerais de abordagem.....	11
2. Programa e conteúdos	13
3. Bibliografia.....	20
III - MÉTODOS DE ENSINO/APRENDIZAGEM	23
1. Organização e objectivos das sessões lectivas	23
1.1. Sessões expositivas	25
1.2. Sessões de exploração e apresentação de artigos	25
1.3. Sessões de síntese da matéria explorada através de artigos.....	26
1.4. Aulas teórico-práticas	26
1.5. Sessões de preparação, apresentação oral e discussão de monografia ou trabalho de divulgação (individual)	28
1.6. Teste de avaliação	29
2. Distribuição da matéria pelos vários tipos de sessões	29
3. Acompanhamento da disciplina e material de estudo facultado aos estudantes	Erro! Marcador não
4. Critérios de avaliação	31