

O USO DE MODELOS PREDITIVOS PARA DIAGNOSTICAR RECURSOS ARQUEOLÓGICOS EM ÁREAS A SEREM AFETADAS POR EMPREENDIMENTOS DE IMPACTO AMBIENTAL¹

Renato Kipnis

INTRODUÇÃO

A distribuição dos recursos arqueológicos no espaço não é aleatória. Ela é padronizada segundo vários fatores, dentre os quais, o comportamento de populações passadas, processos naturais e ação humana na paisagem. De um modo geral, o comportamento humano pretérito produz padrões na cultura material e na paisagem (resultado da interação entre sociedades humanas e meio-ambiente). Com o tempo estes padrões podem ser alterados por processos naturais e pela contínua ação humana (Wood and Johnson 1978) que, apesar de alterarem os vestígios arqueológicos, também são padronizados. O desenvolvimento de modelos preditivos baseiam-se nestes pressupostos e têm por objetivo prever a ocorrência de um determinado fenômeno arqueológico a partir do conhecimento prévio das variáveis envolvidas na formação dos padrões arqueológicos, segundo uma perspectiva sistêmica. A idéia básica que está por trás do desenvolvimento de um modelo arqueológico locacional é que se existem tendências ou padrões entre as localizações de sítios arqueológicos e uma ou mais variáveis distribuídas regionalmente, pode-se então desenvolver um modelo baseando-se nesta associação (Brandt et al. 1992).

É quase que inevitável que empreendimentos de impacto ambiental, principalmente os de grande escala (rodovias, hidroelétricas, gasodutos, etc.), irão deparar com recursos arqueológicos. Um vez que a distribuição destes recursos não é aleatória, seria extremamente útil, e eficiente, se pudessemos de alguma forma prever, se não a localização destes recursos, pelo menos a

¹ Artigo publicado em: CALDARELLI, S. B. (Org.). **Atas do Simpósio sobre Política Nacional do Meio Ambiente e Patrimônio Cultural: Repercussões dos Dez Anos da Resolução CONAMA nº 001/86 sobre a Pesquisa e a Gestão dos Recursos Culturais no Brasil.** Goiânia, Fórum Interdisciplinar para o Avanço da Arqueologia/IGPA-UCG, 1997: 34-40.

probabilidade de sua ocorrência em uma determinada região. Isto daria subsídios para o empreendedor levar em consideração os recursos arqueológicos na elaboração de um empreendimento de impacto ambiental já nas primeiras etapas (i.e. planejamento e diagnóstico) da formulação do projeto. Sem dúvida, isto daria melhores condições para contemplar alternativas de localização do projeto, assim como custos com mitigação dos impactos negativos.

O diagnóstico dos recursos arqueológicos é de extrema importância, pois é ele que deve ser a primeira instância de avaliação do potencial do patrimônio arqueológico. É baseado neste estudo que a primeira análise dos impactos culturais do empreendimento será feita. Durante a etapa do diagnóstico devem ser levantados os principais problemas a serem pesquisados dentro de um empreendimento de impacto ambiental. Os problemas a serem atacados, que tipo de dados são necessários para resolver estes problemas e qual a metodologia a ser utilizada para gerar os dados e processá-los durante o período do projeto como um todo, têm que ser desenvolvido já na primeira fase do empreendimento de impacto ambiental. Em outras palavras, o detalhamento dos programas propostos para mitigação dos impactos negativos têm que se basear no diagnóstico. Eventualmente, como em qualquer outra pesquisa, durante o desenvolvimento do projeto irá ocorrer um refinamento dos problemas e métodos; mas a estrutura básica da pesquisa, o que chamamos de “*design*”, tem que sair deste estudo inicial. Caso contrário fica impossível de se fazer um planejamento eficiente, condição *sine qua non* neste tipo de empreendimento. O diagnóstico dos recursos arqueológicos também é de extrema importância para dar subsídios aos órgãos competentes para a avaliação do patrimônio arqueológico, dos projetos de mitigação e monitoramento dos recursos.

A questão fundamental do estudo de diagnóstico dos recursos arqueológicos é como gerar informação que dê subsídios para avaliar o impacto do empreendimento nos recursos arqueológicos e para planejar atividades de mitigação a partir de dados já existentes. Ou seja, como realizar o estudo de diagnóstico de uma forma eficiente e não onerosa baseado em dados secundários.

É raro uma região no mundo, se é que há uma, em que não exista nenhum registro escrito sobre algo característico do local. Em sua maioria, estes registros contém dados sobre as populações que ali habitam e/ou habitavam. Os registros também contém, em sua maioria, informações sobre o meio-ambiente. No caso específico dos recursos arqueológicos, estas informações podem variar entre um extremo, onde temos informações aprofundadas sobre o passado com alguns trabalhos de campo já realizados e coleções arqueológicas que podem ser consultadas a outro extremo onde nada se sabe. Como o objetivo do diagnóstico dos recursos arqueológicos é o de levantar informações para podermos caracterizar a situação atual do patrimônio cultural de uma dada região a ser impactada, precisamos fazer uso de todas as informações possíveis, sejam elas empíricas ou somente teóricas para caracterizar a região do empreendimento. Na pior das hipóteses, ou seja, a falta total de referências, sempre haverá dados de locais circundantes desta suposta região incógnita e informações sobre o comportamento humano que podem ser utilizadas para os estudos de impacto ambiental.

A utilização de modelos preditivos no contexto de estudo de impacto ambiental é de grande utilidade uma vez que estes modelos são dispositivos que se utilizam de um conhecimento prévio para prever tendências e eventos. Ou seja, eles se utilizam do conhecimento de dados arqueológicos e não-arqueológicos para caracterizar o potencial de uma região, baseados em variáveis definidas pelo pesquisador sem a necessidade de realizar trabalho de campo. É importante ressaltar que precisamos sempre ter em mente o processo de um empreendimento de impacto ambiental como um todo, e que a utilização de modelos não elimina o trabalho de campo, muito pelo contrário, o trabalho de campo é importantíssimo para refinar e validar os modelos e em última instância faz parte da atividade mitigadora. Mas, em se tratando especificamente da fase de diagnóstico, a caracterização dos recursos arqueológicos quando feita nesta etapa do projeto não envolve trabalho de campo. O estudo fica limitado à utilização de dados secundários.

MODELOS EM ARQUEOLOGIA

O que são modelos? Modelos são hipóteses, ou um conjunto de hipóteses que simplifica observações complexas ao mesmo tempo em que oferece um quadro preditivo exato que estrutura estas observações, frequentemente separando redundância (*noise*) de informação. A maioria dos modelos mais sofisticados são modelos matemáticos ou estatísticos, estes têm a vantagem de apresentar um grau mais baixo de viés e normalmente são sistemas dedutivos mais robustos.

Há duas áreas em que os modelos preditivos têm um grande potencial dentro de um contexto de estudos de impacto ambiental, a saber: custo-eficiência e utilidade em planejamentos. A perspectiva quanto ao custo-eficiência está no seu potencial de projetar a provável distribuição dos recursos arqueológicos de uma região a partir de uma amostra cuidadosamente escolhida da área a ser impactada. A utilização de modelos preditivos nos primeiros estágios do planejamento dá condições, oferece subsídios, para que os planejadores evitem os recursos naturais quando possível, ou pelo menos escolham alternativas de menor impacto (Kohler & Parker 1986). Tomemos por exemplo a construção de uma auto-estrada. O estudo de diagnóstico dos recursos arqueológicos pode gerar um modelo que prevê a probabilidade de ocorrência ou não de sítios arqueológicos. O resultado final deste estudo seria um mapa com diferentes áreas, representando diferentes probabilidades de ocorrência dos recursos arqueológicos. Esta informação poderia ser então, utilizada na computação geral dos custos do projeto para gerar alternativas do traçado da estrada. Do ponto de vista dos recursos arqueológicos, as áreas de baixa probabilidade seriam as áreas de menor custo para mitigação.

O desenvolvimento e a utilização de modelos preditivos em arqueologia estão associados à projetos de impacto ambiental na América do Norte. A utilização de modelos preditivos nos Estados Unidos teve um grande avanço no final da década de 70 e início da década de 80 através de projetos financiados por

agências governamentais que gerenciam as terras federais norte americanas. O objetivo destes projetos era o desenvolvimento de modelos que poderiam indicar locais de ocorrência de recursos arqueológicos em grandes áreas, baseados em amostras obtidas através de prospecções feitas somente em algumas partes da região (Ambler, 1984, Ebert 1988, Kvamme 1990, Kohler and Parker 1986, Warren 1990). Em outras palavras, levantar subsídios para avaliação dos impactos culturais e desenvolvimento de programas de mitigação dos impactos negativos de um modo eficiente e sem custos abusivos.

O resultado destes estudos foi o desenvolvimento de modelos preditivos locais que procuram prever, no mínimo, a ocorrência de sítios arqueológicos, material arqueológico ou estruturas pré-históricas em uma região, baseados em padrões ou tendências observadas em uma amostra desta região ou fundamentados em noções ou suposições fundamentais sobre o comportamento humano. A localização dos assentamentos pré-históricos pode ser vista como uma estratégia com fins econômicos, sociais e políticos (Jochim 1981). O desenvolvimento de modelos que incluam todos os possíveis aspectos que possam influenciar o padrão de assentamento humano é muito complexo. A maioria dos modelos desenvolvidos até agora conseguiram uma certa simplificação através da concentração no componente econômico do padrão do assentamento humano. Argumenta-se, ou assume-se, que dentre as várias relações econômicas realizadas por indivíduos e sociedades pré-históricas, uma das mais importantes é com o meio ambiente (Jochim 1981). Esta suposição é importante pois é o fundamento no qual a utilização da distribuição de características ambientais para prever a localização de assentamentos humanos está baseada. Pressupõe-se também, que seres humanos tendem a minimizar o tempo ou esforço gasto em suas transações econômicas com o meio ambiente (Jochim 1981). Suposição esta que tem implicações importantes no desenvolvimento de modelos preditivos.

Uma outra suposição, não menos importante, é a de que o comportamento e suas mudanças ao longo do tempo produzem padrões. Qualquer estudo que visa

gerar conhecimento arqueológico tem que partir da caracterização destes padrões. A base de tudo isto está na definição de cultura como sendo modos comportamentais apreendidos e sua manifestação material, socialmente transmitidos de uma geração para outra e de uma sociedade ou indivíduo para outro (Clarke 1968). Segundo uma perspectiva sistêmica, o registro arqueológico é a soma da agregação dos materiais descartados no curso do padrão repetitivo da localização de partes diferentes do mesmo sistema.

Quando um pesquisador descobre um padrão em um conjunto de observações e desenvolve uma hipótese para explicar o padrão observado, esta hipótese tem implicações preditivas para observações futuras. As implicações podem ser testadas com novos dados independentes. Se os dados são compatíveis com as previsões, a hipótese é validada cientificamente. Caso a hipótese seja refutada, ela tem que ser reformulada. Um aspecto importante deste processo, mas pouco adotado, é a operacionalização das hipóteses, ou seja, criar modos delas serem testadas através de dados empíricos. Este ponto é muito importante, pois é o único modo de se poder avaliar uma pesquisa, seja uma avaliação feita por pesquisadores ou gerenciadores do patrimônio cultural.

Os vários modelos preditivos têm três elementos básicos em comum: informação, método e resultado. O modelo preditivo utiliza o método para transformar informação em resultados previsíveis. Informação é o conjunto do conhecimento já existente do qual o modelo é derivado. Dois tipos básicos de informação podem ser utilizado no desenvolvimento de modelos preditivos. (1) Teorias que explicam os efeitos processuais das variáveis independentes nos eventos de interesse segundo uma relação de cause e efeito, e (2) observações empíricas, que normalmente consistem em (a) interações observadas entre variáveis dependentes e independentes em estudos prévios ou em partes amostradas da área de interesse, e (b) informação sobre as variáveis e condições que possam influenciar o resultado na área de interesse amostrada (Warren 1990).

A informação é fundamental para o desenvolvimento do projeto como um todo. Os dados que coletamos e como os coletamos, isto é, o método empregado em uma pesquisa tem que ser determinado pelo problema que queremos solucionar e pelo conhecimento teórico e empírico previamente adquirido.

O desenvolvimento de um modelo preditivo pode se dar segundo uma perspectiva puramente dedutiva, baseada em teorias, ou de uma forma puramente indutiva, baseada em observações empíricas (Kohler & Parker 1986, Kvamme 1990, Warren 1990). Por exemplo, um modelo para prever a localização de sítios arqueológicos poderia ser desenvolvido utilizando uma perspectiva dedutiva baseada em teorias que salientem as necessidades culturais e biológicas de uma sociedade. As necessidades serviriam para guiar a seleção das variáveis independentes. A associação destas variáveis entre si, e com variáveis do meio-ambiente, indicariam o potencial de ocorrência de sítios arqueológicos em uma determinada área. O oposto deste modelo, seria um modelo puramente empírico, baseado na informação prévia sobre a localização de sítios arqueológicos. Os padrões são descritos de uma forma que possam prover expectativas quanto as características arqueológicas de uma área desconhecida.

Os projetos de gerenciamento dos recursos culturais nos Estados Unidos, onde a utilização de modelos tem sido mais comum, são em sua maioria indutivos e seguem uma estratégia inferencial (Kohler & Parker 1986, Kvamme 1990). Correlatos naturais da localização de sítios arqueológicos são descobertos através de procedimentos de estatística inferencial com o intuito de reduzir o número de variáveis ambientais que possam estar ligadas com a localização dos sítios para um conjunto de variáveis cuja associação com a localização de sítios observados foram comprovadas. Tal procedimento tem o objetivo de caracterizar uma região a partir de uma amostra da mesma. Entre os vários problemas que esta perspectiva apresenta, cabe ressaltar que na ausência de teoria o processo de escolha das variáveis é ineficiente e o modelo resultante não é consistente e fica impossível se ser interpretado. Uma estratégia mais eficiente é a utilização de modelos que incorporem as duas perspectivas, teórica e empírica (Warren 1990).

Algumas das várias estratégias ou enfoques utilizados em modelos preditivos regionais são: (1) modelos baseados em padrões ambientais observados empiricamente em amostras arqueológicas de uma região (Pilgram 1987), (2) modelos que se utilizam de coordenadas espaciais ou posição de sítios conhecidos de uma região para desenvolver modelos quantitativos geográficos (Bakels 1982, Kvamme 1989), (3) modelos que partem de regularidades nas decisões de localização de assentamento observadas em estudos etnográficos comparativos (Jochim 1976) e (4) modelos dedutivos baseados em suposições sobre o comportamento humano, estrutura do meio-ambiente e da relação entre os dois (Limp & Carr 1985). Alguns modelos tentam prever a presença ou ausência de sítios, número de sítios em uma determinada área, tipos de sítios e até mesmo importância (*significância*) do sítio.

Quando um modelo arqueológico locacional preditivo é aplicado à uma região o resultado pode ser visto em termos probabilísticos, apesar de muitas das técnicas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de modelos não têm uma origem probabilística. Por exemplo, a probabilidade de ocorrência ou não de sítios arqueológicos em uma determinada região, ou a probabilidade de ocorrência de sítios pré-cerâmicos.

Uma característica importante na utilização de modelos preditivos dentro de uma perspectiva de projetos de impacto ambiental é que a unidade elementar de pesquisa em estudos de modelos arqueológicos deixa de ser o sítio arqueológico e passa a ser a parcela territorial. A parcela territorial nada mais é que uma parte da área de estudo adquirida através da divisão da região segundo critérios estabelecidos (Kohler & Parker 1986, Kvamme 1990, Warren 1990). A fragmentação de uma região em unidades pode ser facilmente obtida através do quadriculamento de uma região. Por exemplo, uma parcela territorial pode ser uma unidade (um quadrado) do quadriculamento geral. Geralmente as parcelas ou 'células' (*cell*) são do mesmo tamanho (contém a mesma área) para facilitar interpretações e cálculos probabilísticos. A princípio, a parcela territorial pode ser de qualquer tamanho, quanto menor a parcela mais refinadas serão as

previsões, conseqüentemente, as informações geradas serão mais eficazes em termos de gerenciamento dos recursos arqueológicos.

Por exemplo, a figura 1 representa uma região no estado de Minas Gerais, entre a cidade de Belo Horizonte e Serra do Cipó, que foi dividida em quatro unidades territoriais. O evento definido é presença ou ausência de sítio arqueológico. Podemos ver que na figura 1 todas as parcelas contém sítios. Já na figura 2, a mesma área foi subdividida em 32 parcelas. Notamos que 17 das unidades territoriais não contém sítios arqueológicos. Analisando melhor a informação contida na figura 2, veremos que 8 das 32 'células' são caracterizadas pela ausência de curso d'água e que nenhuma destas unidades apresenta sítios arqueológicos. Dentre as 24 unidades com curso d'água, 15 têm a presença de sítios arqueológicos. Apesar de muito simplificado, fica claro as vantagens de se trabalhar com escalas mais precisas.

No começo do desenvolvimento de qualquer modelamento de um problema é importante a definição do evento arqueológico que vai ser observado em cada parcela. A natureza deste evento depende dos objetivos do modelo. Os eventos definidos formam uma fragmentação mutuamente exclusiva e exaustiva do espaço amostrado. A parcela de terra pode ser designada somente a um dos eventos arqueológicos definidos. Esta exclusão mútua implica que as definições sejam claras, sem ambigüidades, e que todos os eventos que possam ocorrer na unidade sejam definidos. Por exemplo, o evento presença ou não de sítio arqueológico em uma parcela de terra, implica na definição de sítio e não sítio.

Uma característica importante na utilização de modelos preditivos é a definição de probabilidades prévias para serem utilizadas como índices de base. Estes são simplesmente probabilidades elementares da ocorrência associada a cada evento arqueológico definido anteriormente, ou anterior a qualquer consideração de modelos (Kvamme 1990). Probabilidade *a priori* indica a probabilidade total de cada evento arqueológico na totalidade de uma região, elas não nos dizem nada sobre onde sítios arqueológicos, material ou outras

evidências possam ser encontradas. Probabilidades arqueológicas *a priori* nos dão condições de definir o que os modelos arqueológicos devem efetuar. Especificamente, o modelo preditivo deve poder indicar a ocorrência de um evento arqueológico em uma localidade com uma probabilidade maior que a probabilidade do evento associada aos índices de base. Em estudos regionais, probabilidades *a priori* podem ser estimadas através de uma perspectiva de frequência relativa baseada em amostras aleatórias de parcelas territoriais e na observação da classe do evento associado a cada parcela (Kvamme 1990, Warrem 1990).

O modelo preditivo pode ser visto como uma regra de decisão que determina uma parcela territorial à uma das classes do evento arqueológico definido, baseando-se em outras condições e características do local, na maioria dos casos variáveis não arqueológicas. Em outras palavras, o modelo processa as variáveis independentes, os dados não arqueológicos (*input*) segundo vários critérios de decisão, e tem como resultado (*output*) a classificação ou determinação do local à uma classe do evento arqueológico, que é a variável dependente.

Em qualquer região de estudo as características não arqueológicas podem ser determinadas ao nível das unidades de parcela territorial a serem investigadas através de medições ou observações feitas em mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite ou mesmo informação espacial gerada por computadores, sem a necessidade de realização de trabalho de campo. Para cada parcela territorial o resultado é uma série de características ou atributos para a unidade de análise. Estas características devem representar variáveis que, segundo trabalhos prévios ou teoria, têm alguma relação com a distribuição dos eventos arqueológicos estudados. A maioria dos estudos que seguem uma perspectiva de modelos, independente de sua natureza e origem, têm focalizado as observações espaciais das características do meio-ambiente; por exemplo, relêvo, tipo de solo, declividade, elevação, vegetação (tipos de comunidades de plantas), ou distância da água. Outras propriedades de localidade que também são empregadas como

base no desenvolvimento de modelos incluem atributos de localidade e até mesmo atributos sócio-culturais. É baseado nestas características que o modelo preditivo arqueológico, através de alguma forma de regra de decisão, designa cada unidade local à um dos eventos arqueológicos definido.

Para exemplificar, vamos supor um projeto cujo objetivo é caracterizar o potencial arqueológico de uma dada região segundo padrões ambientais observados. O evento (variável dependente) que definimos é presença ou ausência de sítios arqueológicos. As informações (variáveis independentes) utilizadas para desenvolver o modelo são dados do meio ambiente: (a) vegetação, que pode assumir três valores: comunidade de plantas A, B ou C; (b) declividade do terreno segundo três classes: 0 a 10 graus, entre 10 e 20 graus e maior do que 20 graus, e (C) distância de água de acordo com três divisões: entre 0 e 500 metros, de 500 a 1000 metros e maior que 1000 metros (Tabela 1)

TABELA 1

vegetação	declividade do terreno	distância de água
comunidade de plantas A	0 ^o - 10 ^o	0 - 500 m.
comunidade de plantas B	10 ^o - 20 ^o	500 - 1000 m.
comunidade de plantas C	> 20 ^o	> 1000 m.

Baseados em observações empíricas desenvolveu-se o seguinte modelo utilizando-se parcelas territoriais de 1 km²:

vegetação	declividade do terreno	distância da água	probabilidade de ocorrência de sítios arqueológicos
comunidade de plantas A	0 ^o - 10 ^o	500 - 1000 m	.80
comunidade de plantas B	0 ^o - 10 ^o	0 - 500 m	.10
comunidade de plantas A	10 ^o - 20 ^o	500 e 1000 m	.05

Em uma dada região com características semelhantes àquela onde se desenvolveu o modelo, prevemos que a probabilidade de ocorrência de sítios

arqueológicos em uma área cuja vegetação é caracterizada pela comunidade de plantas A, cuja declividade do terreno está entre 0° e 10° e a distância da água entre 500 e 1000 metros é de .80.

As variáveis dependentes que se tem utilizado em estudos que empregam modelos preditivos vão desde categorias arqueológicas até índices quantitativos. O evento arqueológico (variável dependente) mais comum empregado nos estudos é a presença ou ausência de sítios (Brandt et al. 1992, Kohler & Parker 1986, Kvamme 1990, Warren 1990). Há duas razões principais pelo qual esta variável é utilizada. Primeiro, são poucos os estudos onde temos informação suficiente para se fazer uma classificação significativa de sítios. Segundo, mesmo que possamos classificar os sítios, o tamanho amostral é muito pequeno para muito dos sítios para serem utilizados como amostras nas quais o desenvolvimento do modelo basear-se-á. Por outro lado, juntando todos os sítios em uma simples classe ‘presença de sítio’ tem-se uma amostra significativa. Isto cria outros problemas, como o fato de juntar tipos diferentes de sítio em uma mesma classe o que acaba introduzindo heterogeneidade em qualquer modelo que procura resolver problemas. Entretanto, há estudos que argumentam que as características de localidade talvez seja comum à todas as classes de sítios de uma região (Kvamme 1990).

Modelos arqueológicos preditivos universalmente se baseam em características não-arqueológicas de localidades. Quatro grandes categorias são normalmente empregadas: meio-ambiente, sócio-cultural, asserção e dados radiométricos (Kohler & Parker 1986, Kvamme 1990, Warren 1990).

A suposição que o meio-ambiente natural tem uma grande influência na seleção da localidade do assentamento e áreas de atividade de populações pré-históricas é suportada por dados empíricos etnográficos, arqueológicos e estudos teóricos (Gumerman 1971, Jochim 1976, Thomas and Bettinger 1976, Western and Dunne 1979). Há um grande número de características ambientais utilizadas em análise arqueológica e desenvolvimento de modelos: declividade,

produtividade do solo, permeabilidade do solo, elevação, topografia, visibilidade, rede de drenagem, profundidade de lençóis freáticos, e comunidades de planta. Um problema que encontramos com a utilização destas variáveis é o quanto elas são representativas de tempos passados, principalmente aquelas que são mais sensíveis as mudanças climáticas. Esta é uma questão que geralmente não é abordada nos estudos de modelo preditivos, mas que deveria ser.

Uma grande variedade de algoritmos tem sido utilizada na construção de modelos preditivos em arqueologia. Estes algoritmos são originários de áreas como a matemática, estatística, teoria da informação e processamento de imagens de sensoriamento remoto.

Uma vez desenvolvido um modelo preditivo é necessário testá-lo. A verificação de modelos compreende na comparação das previsões que o modelo faz com dados empíricos, eventos arqueológicos em localidades onde ambos (previsão e dado empírico) são conhecidos. Esta comparação tem que ser independente dos dados utilizados na geração do modelo.

SISTEMA INFORMATIVO GEOGRÁFICO E MODELOS PREDITIVOS

Um das perspectivas que tem grande potencial na utilização de modelos preditivos regionais e somente nos últimos anos tem se desenvolvido é a utilização de sistema informativo geográfico (SIG ou *GIS/geographic information system*). O desenvolvimento de modelos preditivos regionais requer uma quantidade de informação muito grande e o processamento dos dados é intenso. Estes modelos necessitam de dados ambientais que normalmente são obtidos através de mapas e que representam um número grande de variáveis para (1) amostras locais que representem cada classe de evento arqueológico para fins de testar o modelo e (2) para cada localidade na região onde o modelo será aplicado segundo uma perspectiva preditiva. Para os modelos que pretendem generalizar a partir de padrões empíricos observados em amostras prévias, o que

atualmente é a estratégia mais comum, os requerimentos já mencionados são necessários (3) para as amostras das localidades para cada classe de evento arqueológico para o desenvolvimento do modelo.

A utilização do sistema informativo geográfico supera quase que todas as dificuldades e limitações que surgem no desenvolvimento, teste e aplicação de modelos preditivos regionais (Kvamme 1986). O sistema informativo geográfico é um modo computacional de manipular, analisar, guardar, apreender, recuperar, e exibir várias formas de dados que possam ser referidos a localidades geográficas específicas (Kvamme 1990). A maioria dos SIGs adequados para análise regional arqueológica e aplicações de modelos são sistemas baseados em 'células', onde a região de estudo é quadriculada por 'células' que representam parcelas territoriais, e os vários tipos de dados são armazenados para cada uma delas. Cada tipo de informação é armazenado em um banco de dados que representa uma variável que é espacialmente distribuída na região. A perspectiva de se utilizar 'células' corresponde exatamente com a unidade de análise elementar de modelos regionais arqueológicos, a parcela territorial; conseqüentemente, as estruturas dos SIGs são logicamente e organizacionalmente consistentes como as necessidades impostas pelos modelos preditivos

Qualquer tipo de informação que seja geograficamente distribuída pode ser codificada dentro do SIG, dados originados de fontes como topografia, solos, vegetação, localização de sítios arqueológicos, rede hidrográfica, e outros tipos de mapas, assim como de foto aérea e imagem de sensoriamento remoto. Cada fonte de informação é armazenada separadamente em camadas temáticas dentro do SIG.

Uma das características importantes do SIG é o seu potencial de gerar dados secundários a partir de outras fontes. Por exemplo, partindo de um mapa topográfico (com dados sobre elevação) podemos gerar e armazenar novas informações como: declividade, visibilidade, relevo local, variabilidade local do terreno, e identificação terraços, *canyons*, platôs, e bacias hidrográficas.

Uma vez montado, codificado e armazenado ‘célula’ por ‘célula’ os dados ambientais de uma região, fica muito mais fácil, simplificado e eficiente o desenvolvimento, teste e aplicação de modelos regionais preditivos.

A utilização de SIG para desenvolver modelos preditivos regionais é um instrumento heurístico que pode melhorar nosso conhecimento sobre a distribuição do assentamento pré-histórico, padrões de uso da terra, e interação de populações pré-históricas com o meio-ambiente. Modelos regionais eficientes podem caracterizar a distribuição pré-históricas e padrões decorrentes de um modo mais explicativo. Modelos regionais com potenciais preditivos podem se tornar instrumentos eficientes para o gerenciamento e proteção dos recursos arqueológicos. O desenvolvimento de modelos preditivos, juntamente com SIG, pode contribuir com o planejamento de empreendimentos de impacto ambiental de uma forma mais eficiente, de melhor qualidade e com custos mais baixos.

DISCUSSÃO

Apesar dos avanços teóricos, metodológicos e técnicos mencionados, a grande maioria dos projetos arqueológicos no Brasil em áreas a serem afetadas por empreendimentos de impacto ambiental é puramente empírica, não se utiliza das técnicas disponíveis de uma forma consciente e eficiente, e não segue a perspectiva de modelos. Normalmente os projetos realizam prospecções sistemáticas para se descobrir e delimitar sítios arqueológicos. As áreas com distribuição densa de material arqueológico (artefatos, estruturas, etc.) são definidas como sítios. Estes são associados às áreas onde atividades foram realizadas por populações pré-históricas. As localidades fora do sítio são definidas como não-sítios, e em um contexto de impacto ambiental, os sítios serão estudados e as áreas classificadas de não-sítios não.

Segundo esta lógica fica difícil decidir o que ocorreu em um sítio e qual a sua importância. O local de ocorrência do material arqueológico fica sendo a

unidade de análise. Nesta perspectiva fica difícil se fazer qualquer avaliação, uma vez que não há um encadeamento lógico do que é realizado e porque. Fica mais difícil ainda se fazer qualquer planejamento de atividades de mitigação. O objetivo destas prospecções são normalmente obscuras, são poucas as pesquisas que têm objetivos claros, e os aspectos quantitativos dos projetos são em sua maior inadequados para qualquer estudo sério de impacto ambiental onde decisões quanto a preservação ou não dos recursos arqueológico têm que ser tomadas.

É importante ressaltar que a utilização de modelos preditivos e técnicas de estatística no estudo da avaliação e mitigação dos recursos arqueológicos não faz mais que ajudar na geração de conhecimento arqueológico e prover linhas gerais para o gerenciamento dos recursos arqueológicos. A utilização destes modelos para tomar decisões é de competência dos responsáveis pelo gerenciamento dos empreendimentos de impacto ambiental.

Espero que após esta breve discussão tenha ficado óbvio que para a utilização de modelos preditivos em arqueologia como instrumento eficaz de geração de informações a serem utilizadas no licenciamento de atividades de impacto ambiental, os estudos dos recursos arqueológicos têm que ser realizados já nas primeiras etapas de planejamento das atividades modificadoras do meio ambiente. Mesmo em áreas onde há uma grande quantidade de dados secundários, o desenvolvimento, teste e aplicação de modelos é um processo que requer tempo e portanto é preciso ser incorporado no empreendimento em tempo hábil para poder gerar as informações necessárias na elaboração do relatório de impacto ambiental.

As informações geradas pelo diagnóstico dos recursos arqueológicos são importantes para (a) contemplar todas as alternativas de localização do empreendimento confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto, (b) identificar e avaliar sistematicamente os impactos nos recursos arqueológicos gerados nas fases de implantação e operação da atividade, e (c) definir os limites

geográficos a serem direta ou indiretamente afetados pelos impactos negativos do projeto. Estas diretrizes são requerimentos da resolução CONAMA N. 001 (Art. 5), que no caso da arqueologia raramente são incluídos na decisão do licenciamento de atividades.

Somente com a incorporação dos estudos dos recursos arqueológicos nas primeiras etapas do empreendimento é que teremos condições reais de (a) caracterizar a situação do patrimônio arqueológico atual na área antes da implantação do projeto, (b) avaliar os impactos nos recursos arqueológicos do projeto e avaliar alternativas através de indentificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, (c) propor medidas mitigadoras eficientes dos impactos negativos, e (d) elaborar um programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos como prevê o artigo 6 da resolução CONAMA N. 001.

Uma última consideração quanto ao uso de modelos preditivos é a respeito de sua eficiência em estruturar os estudos de avaliação dos impactos culturais e detalhamento dos programas propostos para mitigação dos impactos negativos. Normalmente os estudos de impacto e atividades de mitigação não são realizados pelo mesmo grupo. A utilização de modelos facilita a implantação de programas de mitigação, uma vez que dentro de uma perspectiva de modelos o processo é visto como um todo, e o planejamento também. Este é um ponto muito importante, pois apesar de parecer óbvio, muitas vezes os trabalhos de estudos de impacto ambiental são realizados na fase de implantação, mesmo em projetos onde estes trabalhos já foram feitos.

Apesar de estarmos muito defasados na utilização de modelos, espero que esta breve introdução sobre modelos preditivos seja um começo para difundir e discutir a utilidade e potencial desta perspectiva em estudos de impacto ambiental nos recursos arqueológicos e gerenciamento do patrimônio cultural. Uma das vantagens em se utilizar esta perspectiva é que o desenvolvimento, teste e aplicação de modelos implica em um pensamento claro e lógico e

consequentemente dá subsídios para avaliação dos estudos de impacto ambiental e do planejamento de atividades mitigadoras como preve a resolução CONAMA N. 001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambler, J. Richard

1984 The use and abuse of predictive modeling in cultural resource management. **American Archaeology**. 4(2):140-146.

Bakels, C. C.

1982 The Settlement System of the Dutch Linearbandkeramik. **Analecta Prehistorica Leidensia**. 15:31-45.

Brandt, Roel Groenewoudt, Bert J. and Kvamme, Kenneth L.

1992 An experiment in archaeological site location: modeling in the Netherlands using GIS techniques. **World Archaeology**. 24(2):268-282.

Clarke, David L.

1968 **Analytical Archaeology** London: Methuen & Co. LTD.

Ebert, James I.

1988 Modeling Human Systems and "Predicting" the Archaeological Record: The Unavoidable Relationship of Theory and Method. **American Archaeology**. 7:3-8.

Gumerman, G. J. (editor)

1971 **The distribution of prehistoric population aggregates** Prescott, Arizona: Anthropological Reports 1, Prescott College Press.

Jochim, Michael A.

1976 **Hunter-Gatherer Subsistence and Settlement: A Predictive Model** New York: Academic Press.

1981 **Strategies for survival: cultural behavior in an ecological context** New York: Academic Press.

Kohler, Timothy A. and Parker, Sandra C.

1986 Predictive Models for Archaeological Resource Location. **Advances in Archaeological Method and Theory**. 10:397-452.

Kvamme, Kenneth L.

- 1988 Development and testing of quantitative models:. In: W.J. Judge & L. Sebastian (editors) **Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modeling** Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. p.325-428.
- 1986 An Overview of Geographic Information Systems for Archaeological Research and Data Management. **Proceedings of the national workshop on microcomputers in archaeology** Manuscript sponsored by the Society for American Archaeology and Society for Professional Archaeologists.
- 1989 Geographic Information System in Regional Archaeological Research and Data Management. **Archaeological Method and Theory**. 1:139-203.
- 1990 The fundamental principles and practice of predictive archaeological modeling. In: Vorrips, A. (editor) **Mathematics and Information Science in Archaeology: a flexible framework** Bonn: Studies in Modern Archaeology, vol. 3 - Holos-Verlag. p.257-195.

Limp, W. & C. Carr

- 1985 The analysis of decision making: alternative applications in archaeology. In: C. Carr (editor) **For concordance in archaeological analysis: bridging data structure, quantitative technique, and theory** Kansas City: Westport Press. p.128-172.

Malta, Ione M. & Heinz C. Kohler

- 1991 O cenário geográfico e geológico do planalto de Lagoa Santa/MG. **Arquivos do Museu de História Natural** 12:3-11

Pilgram, Tom

- 1987 **Predicting Archaeological Sites from Environmental Variables** Great Britain: BAR International Series 320.

Warren, Robert E.

- 1990 Predictive modelling in archaeology: a primer. In: Green, Allen & Zubrow (editors) **Interpreting Space: GIS and archaeology** London: Taylor & Francis. p.90-111.

Western, D. & T. Dunne

- 1979 Environmental aspects of settlement site decisions among pastoral Maasai. **Human Ecology**. 7:75-81.

Wood, W. R. and D.L. Johnson

- 1978 A survey of disturbance processes in archaeological site formation. **Advances in Archaeological Method and Theory**. 1:315-381.