

Estudo dos padrões da rede de drenagem do estado do Espírito Santo e associações geomorfológicas e geológico-estruturais utilizando técnicas de análise e consulta espacial

Júlio Luiz de Souza Faustino dos Santos ¹
Paulo de Tarso Ferro de Oliveira Fortes ¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - UFES/CCENS
Caixa Postal 16 - 29500-000 - Alegre - ES, Brasil
julio.faustino@hotmail.com
paulo.fortes@ufes.br

Abstract. Different types of drainage plays an important role in hydrological studies, because it helps in understanding the occurrence, distribution and movement of water as well as geological and geomorphological possible associations. This work seeks to understand, based on spatial analysis techniques, if there is relationship between drainage course patterns with geomorphology, geology and large structures of the Espírito Santo state. Within this context, it was proposed the application of cross-tabulation technique between the drainage standards map with the maps of geomorphological units, tectonics domains and geological structures, being the first and last map drawn by the author. As a result of cross tabulation it as possible to observe a close relationship between types of drainage patterns with geomorphology, geology and geological structures. It is easy to observe the relation of the parallel pattern with the geology and geomorphology of the coastal region, characterized by ternary and quaternary sedimentary deposits. The rectangular end trellis patterns have an intimate relationship with geological structures and the geomorphological units structurally controlled. The radial pattern occurs in restricted areas and with low geomorphological and geological-structural relationship. Already the patterns contorted, dendritic and subdendritic don't have relation with tectonic domain, geological structure or geomorphological units, reinforcing the fact that they follow no pattern to occur.

Palavras-chave: drainage pattern, geomorphology, geology, cross tababulation, padrão de drenagem, geomorfologia, geologia, tabulação cruzada.

1. Introdução

O estudo dos padrões das redes de drenagem tem importante papel nos estudos hidrológicos, pois viabilizam a compreensão da ocorrência, distribuição e movimentação da água, bem como possíveis associações com aspectos geomorfológicos e geológico-estruturais. O presente trabalho procura compreender, a partir de técnicas de análise e consulta espacial, se existe relação entre os padrões de cursos de drenagens com a geomorfologia, já que os processos morfogenéticos são responsáveis pelo modelamento da paisagem, consequentemente afetando o curso dos rios. Além disso, fatores geológicos podem ter relativa influência nos padrões da rede de drenagem, seja por questões litológicas, como, por exemplo, o tipo de rocha e material constituinte, ou por questões estruturais relacionadas a grandes feições lineares (lineamentos).

Neste trabalho, foi aplicada a tabulação cruzada, que é uma técnica de análise e consulta espacial que permite calcular a área das interseções entre as classes de dois planos de informações temáticos no formato matricial. A técnica de tabulação cruzada compara as classes de dois planos de informações, determinando a distribuição de suas interseções e os resultados são apresentados em forma de tabelas de duas dimensões.

1.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Espírito Santo (ES), localizado na região sudeste do Brasil, limitado a norte pelo estado da Bahia, a sul pelo Rio de Janeiro, a oeste por Minas Gerais e a leste pelo Oceano Atlântico (figura 1).

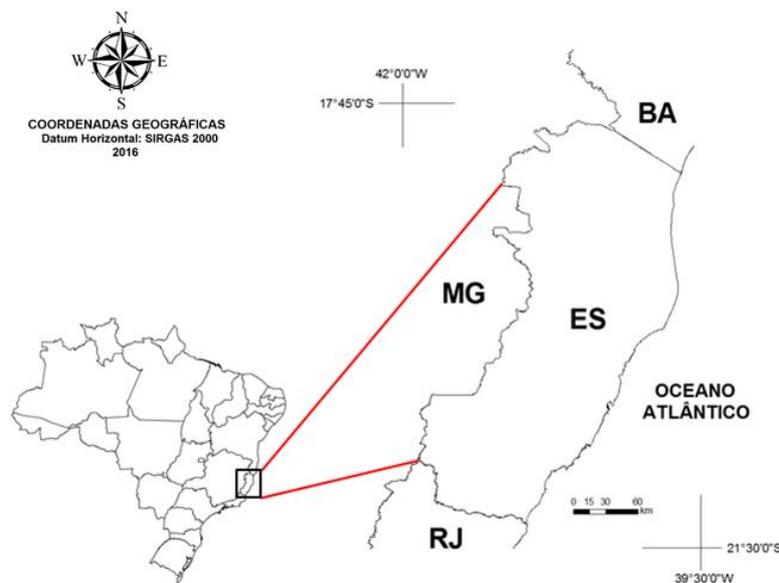


Figura 1 - Localização da área de estudo.

1.2 Geomorfologia

Segundo Coelho *et al.*(2012) o ES pode ser dividido em oito tipos de unidades geomorfológicas distintas (figura 2). As Planícies e Tabuleiros Costeiros são caracterizados por faixas de praias e desembocadura de rios, possuindo sedimentos cenozoicos. As Colinas e Maciços Costeiros são caracterizados por estruturas dobradas e fraturadas. Os Chãs Pré-Litorâneos são constituídos por superfície dissecada e rampeada em direção à costa. Os Maciços do Caparaó apresentam falhas intercruzadas, escarpas adaptadas e falhas. Os Patamares Escalonados representam blocos basculados relacionadas a ciclos geotectônicos. As Depressões Marginais possuem configuração irregular, marcada por reentrâncias, com forte dissecção fluvial. Por fim, os Blocos Montanhosos representam diversos núcleos plutônicos.

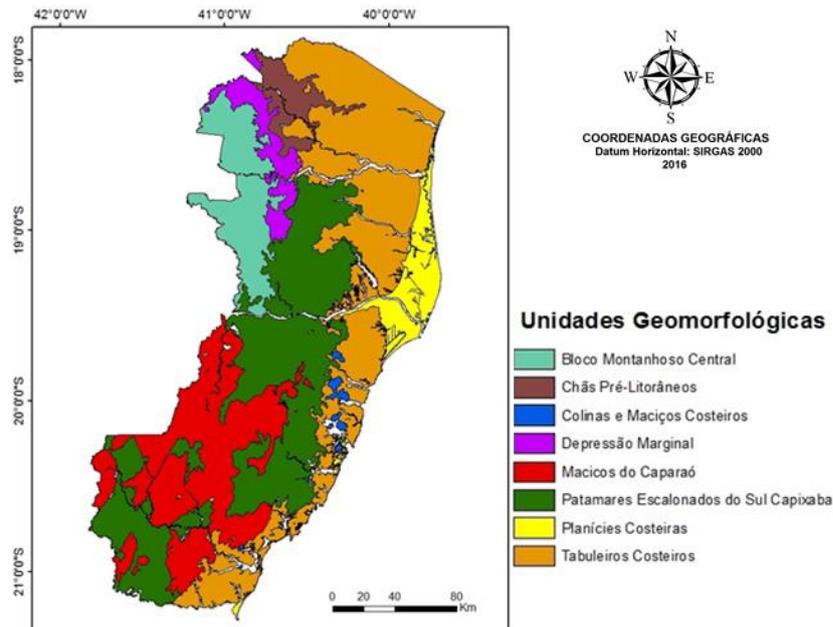


Figura 2 - Mapa de unidades geomorfológicas do ES. Modificado de Coelho *et al.* (2012).

1.3 Entidades tectônicas

O mapa de entidades tectônicas utilizado neste trabalho é produto de uma simplificação do mapa geológico do ES. Esta simplificação foi realizada a partir da agregação de unidades litoestratigráficas, para balizar este produto foi feita a comparação com o mapa de domínios tectônicos de Vieira *et al.* (2014), que não está disponível em ambiente de SIG.

1.4 Principais estruturas geológicas

A fim de simplificar, foram selecionadas apenas três estruturas geológicas, selecionadas devido à importância no contexto regional e extensão territorial. As estruturas selecionadas foram o Feixe de Fraturas Colatina (FFC) e as Zona de Cisalhamento Guaçuí (ZCG) e Batatal (ZCB). O FFC (Belém *et al.*, 2013) é de uma zona de grandes lineamentos de direção NW, caracterizados por fraturas, alinhamento bem definido e orientação da rede de drenagem (Mello *et al.*, 2005). Já as zonas de cisalhamento representam estruturas dúctil e dúctil-rúptil fortemente estruturadas. A ZCG está localizada na região sudoeste e a ZCB na porção sudeste do ES e foram identificadas no mapa de domínios tectônicos de Vieira *et al.* (2014).

2. Metodologia de trabalho

Inicialmente foi feita a aquisição dos arquivos para montar a base de dados espaciais. A fonte dos vetores de limite do ES e das unidades geomorfológicas é o Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), em escala de 1:250.000. A rede de drenagem foi adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em escala de 1:250.000. O mapa de domínios tectônicos (escala de 1:400.000) e os vetores das unidades litoestratigráficas (1:1.000.000) foram adquiridos da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

O *software* utilizado para a elaboração do mapa de padrões de drenagem do ES e delimitação das principais estruturas geológicas foi o *ArcMap 10.3*. No *TerraView 4.2.2* foi feita a agregação das unidades litoestratigráficas. A etapa de tabulação cruzada foi realizada com o auxílio do *Spring 5.3*.

Para a elaboração do mapa de padrões de drenagem do estado do ES foram utilizados os vetores do limite do estado e da hidrografia. Os padrões de drenagem foram definidos por análise visual, seguindo os critérios adotados por Howard (1967) e as propriedades da rede de

drenagem segundo Soares e Fiori (1976). Todos os *shapes* do mapa foram exportados para utilização na etapa de tabulação cruzada.

O mapa de principais estruturas geológicas foi elaborado tendo como base o mapa de domínios tectônicos, onde foram criados polígonos que refletem a área de atuação do FFC e as ZCG e ZCB. Assim como no mapa anterior, os *shapes* foram exportados para a utilização na etapa de tabulação cruzada.

Como o mapa de domínios tectônicos de Vieira *et al.* (2014) não está disponível em ambiente de SIG, foi necessária a agregação das unidades litoestratigráficas do mapa geológico da CPRM para a simplificação da geologia do ES. Utilizando a técnica de agregação foi possível elaborar o mapa de entidades tectônicas. Assim como nas etapas anteriores, os *shapes* foram exportados para serem utilizados na tabulação cruzada.

Os mapas de padrões de drenagem, principais estruturas geológicas, entidades tectônicas e unidades geomorfológicas foram utilizado na etapa de análise e consulta espacial para fazer a confrontação com as classes temáticas, via tabulação cruzada, como mostra o fluxograma simplificado na figura 3.

Vale ressaltar que antes de realizar a tabulação cruzada, todos os mapas vetoriais em formato *shape* utilizados, foram convertidos para o formato ASCII-SPRING e importados como “linhas com topologia”, em seguida foram ajustados e poligonizados na interface de edição vetorial, a seguir o arquivo de “*labels*” foi importado como “identificadores” e associados às respectivas classes na categoria “temático”. Essa foi a forma encontrada para poder fazer a conversão dos arquivos do tipo vetor para matriz, e assim conseguir rodar a rotina de tabulação cruzada.

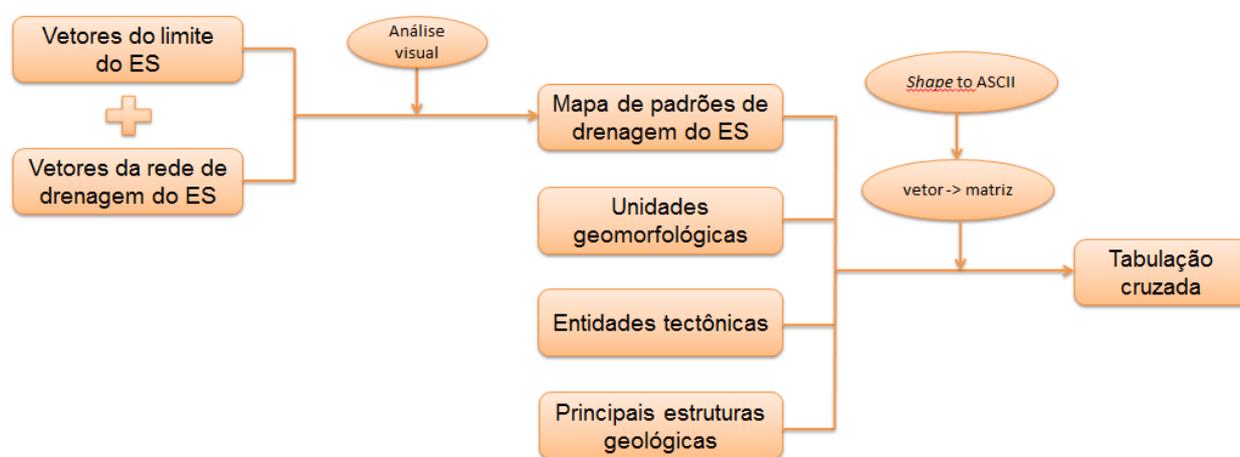


Figura 3 - Fluxograma da metodologia adotada.

3. Resultados e discussão

No ES foram reconhecidos oito padrões de drenagem (figura 4) com diferentes propriedades em sua rede de drenagem. O padrão paralelo é caracterizado principalmente pela média densidade, angularidade baixa e tropia unidirecional. O padrão treliça normalmente apresenta sinuosidade retilínea e alta angularidade. O padrão retangular, também chamado de angular, é caracterizado por mudanças bruscas nas direções dos rios, devido a angularidade alta e sinuosidade retilínea. O padrão contorcido, em geral, possui tropia multidirecional, com sinuosidade mista e média densidade. Padrão radial ocorrem em áreas restritas e possui baixo grau de interação e baixa densidade. Padrão dendrítico tem características essencialmente de tropia multidirecional e com alta densidade. O padrão subdendrítico é uma variação do dendrítico, normalmente com média densidade e sinuosidade mista. Por fim, o padrão ausente foi assim classificado quando não há presença de drenagem ou a mesma não possui padrão.

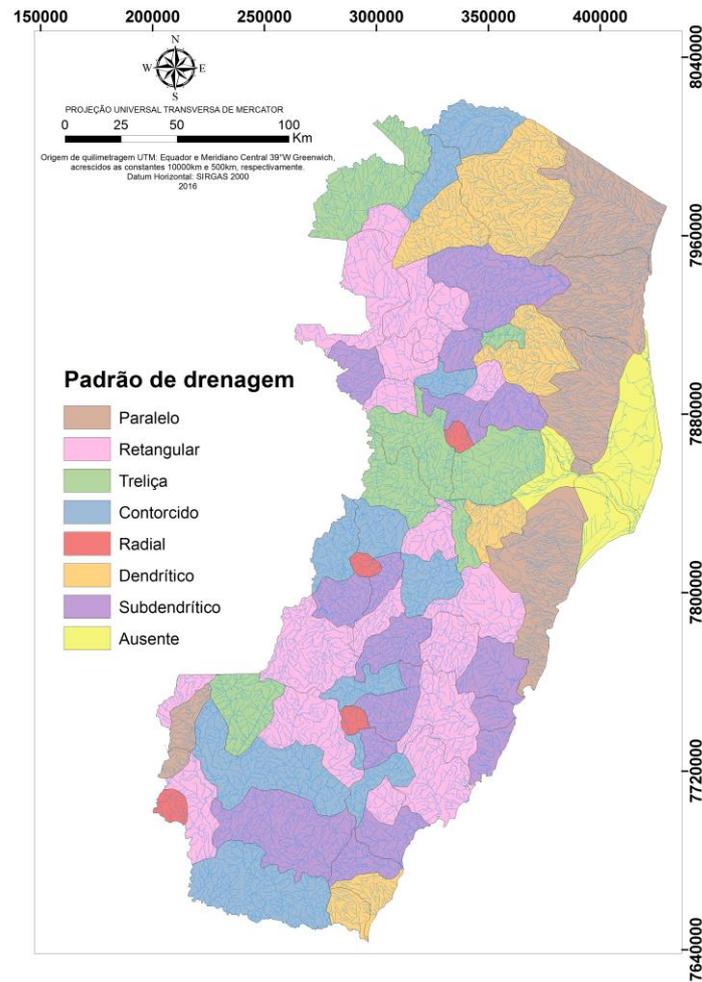


Figura 4 - Mapa de padrões de drenagem do ES.

O mapa resultante da delimitação das principais estruturas geológicas do ES com base no mapa de domínios tectônicos pode ser observado na figura 5.

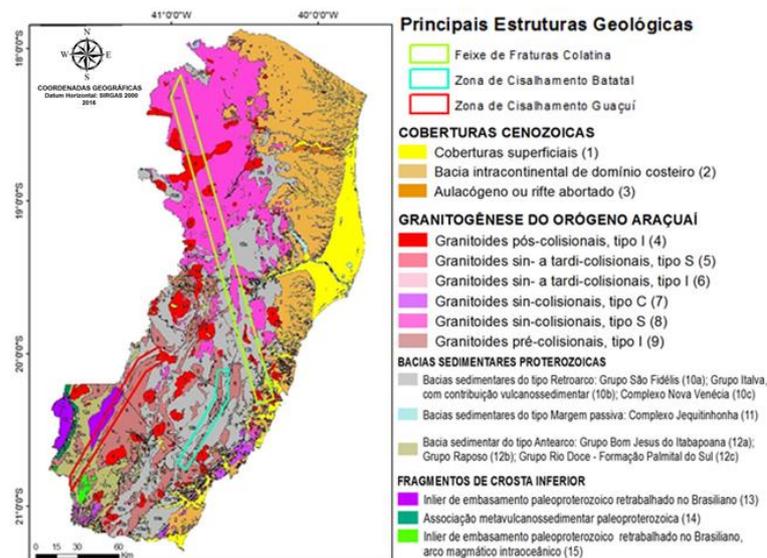


Figura 5 - Mapa de domínios tectônicos com destaque para as principais estruturas geológicas do ES. Modificado de Vieira et al (2014).

A agregação das unidades litoestratigráficas teve como resultado o mapa de entidades tectônicas (figura 6), onde foram definidas cinco entidades. As unidades litoestratigráficas representantes do embasamento paleoproterozoico foram unificadas, formando a entidade “fragmentos de crosta inferior”. As unidades representantes das bacias do tipo retroarco, margem passiva e antearco formaram a entidade “bacias sedimentares proterozoicas”. As unidades litoestratigráficas caracterizadas como granitóides oriundos da granitogênese do Orógeno Araçuaí foram agregados formando a entidade “granitóides”. Os sedimentos de bacia intracontinental formaram a entidade “domínio costeiro” e as coberturas superficiais formam a entidade homônima.

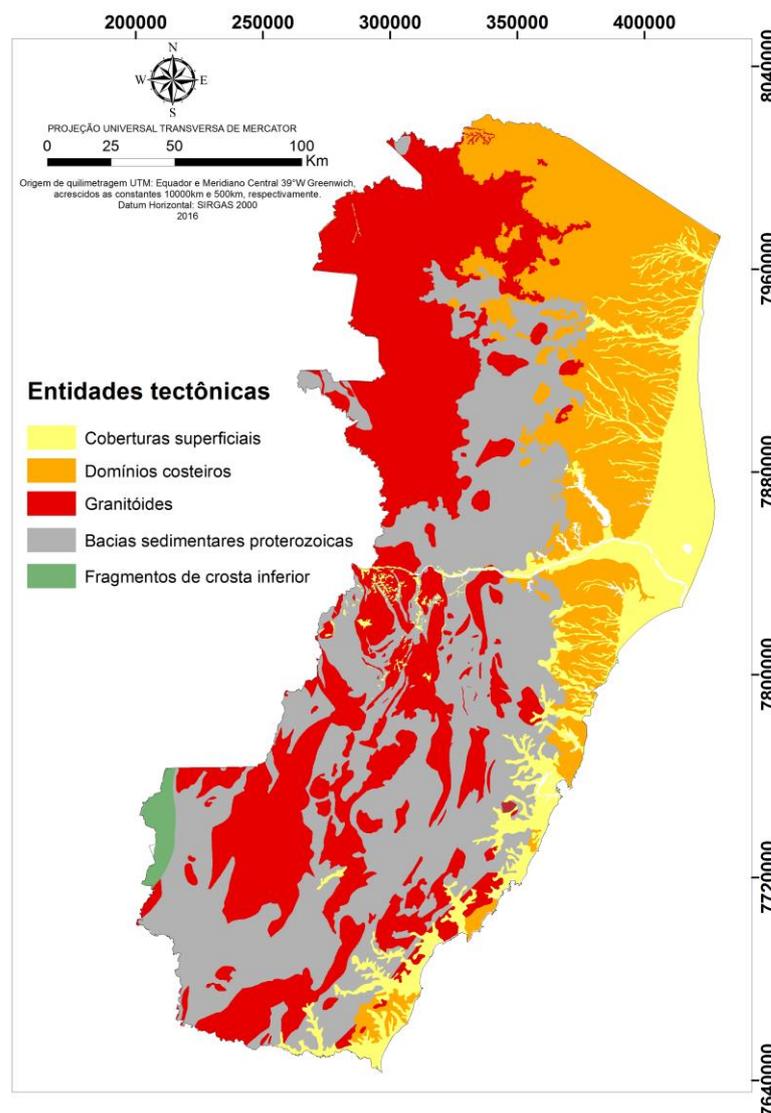


Figura 6 - Mapa de entidades tectônicas do ES.

Na tabela 1, que correlaciona os tipos de padrões de drenagem com as unidades geomorfológicas do ES, nota-se a forte relação entre os padrões do tipo paralelo e ausente com as unidades geomorfológicas “planícies costeiras” e “tabuleiros costeiros”, localizados principalmente na porção litorânea norte. O padrão dendrítico tem boa correlação com a unidade “tabuleiros costeiros”. O padrão radial correlaciona-se apenas com as unidades “patamares escalonados” e “maciços do caparaó”. Todos os outros padrões encontram-se distribuídos ao longo de diferentes tipos de unidades geomorfológicas, sem que nenhum tipo de correlação entre os mesmos seja de evidente destaque neste caso.

Tabela 1 - Tabulação cruzada entre os padrões de drenagem e as unidades geomorfológicas.

Padrões de drenagem	Unidades geomorfológicas							
	Plan. Cost.	Tab. Cost.	Bloco Mont.	Chãs Pré Litorâneos	Colinas /Maciços	Depres. Marginal	Maciços Caparaó	Patamares Escalon.
Paralelo	7.03%	84.27%	0%	0%	0.87%	0%	4.28%	3.54%
Retangular	1.01%	6.40%	20.58%	0.01%	1.07%	6.85%	27.44%	36.64%
Treliça	1.02%	2.67%	22.68%	5.97%	0%	10.87%	11.74%	45.05%
Contorcido	1.66%	15.34%	0.01%	4.64%	0%	2.12%	35.34%	40.88%
Radial	0%	0%	0%	0%	0%	0%	32.63%	67.37%
Dendrítico	3.33%	62.98%	1.15%	14.51%	0.01%	2.69%	0%	15.33%
Subdendrítico	5.79%	26.32%	5.13%	1.68%	0.98%	1.65%	26.09%	32.37%
Ausente	88.00%	11.54%	0%	0%	0%	0%	0%	0.46%

Podemos observar na tabela 2 a forte relação entre o padrão paralelo e o padrão ausente com as entidades tectônicas “domínios costeiros” e “coberturas superficiais”, já que o primeiro padrão está quase 90% associado e 100% do padrão ausente está presente apenas nestes dois tipos de entidades. Ainda podemos observar que os padrões de drenagem retangular, treliça e radial estão correlacionados em mais de 90% com os “granitóides” e “bacias sedimentares proterozoicas”. Já os padrões contorcido, dendrítico e subdendrítico não possuem uma relação muito forte com nenhum tipo de domínio específico.

Tabela 2 - Tabulação cruzada entre os padrões de drenagem e as entidades tectônicas.

Padrões de drenagem	Entidades tectônicas				
	Fragmentos de crosta	Bac. Sediment. Proterozóicas	Granitóides	Coberturas Superficiais	Domínios Costeiros
Paralelo	3.24%	6.80%	0.14%	18.42%	71.39%
Retangular	1.56%	50.46%	43.41%	3.18%	1.38%
Treliça	0%	40.91%	53.52%	2.27%	3.29%
Contorcido	0%	46.56%	39.80%	3.40%	10.24%
Radial	0%	60.59%	39.41%	0%	0%
Dendrítico	0%	21.60%	26.51%	5.97%	45.92%
Subdendrítico	0%	59.68%	23.33%	10.85%	6.14%
Ausente	0%	0%	0%	86.82%	13.18%

A tabela 3 correlaciona os padrões de drenagem com as principais e maiores estruturas geológicas do estado do Espírito Santo. Analisando a mesma, podemos observar que os padrões paralelo, radial e ausente não apresentam nenhum tipo de associação com estas estruturas. Tais estruturas estão relacionadas com o padrão retangular em primeiro lugar, sempre com mais de 50% de associação, seguido do padrão treliça, além dos padrões contorcido e subdendrítico em menor escala.

Tabela 3 - Tabulação cruzada entre as principais estruturas e os padrões de drenagem.

Principais estruturas	Padrões de drenagem							
	Paralelo	Retangular	Treliça	Contorcido	Radial	Dendrítico	Subdendrítico	Ausente
FFC	0%	52,14%	30,66%	2,78%	0%	0,29%	14,14%	0%
ZCG	0%	54,10%	29,85%	14,36%	0%	0%	1,70%	0%
ZCB	0%	70,05%	0%	20,31%	0%	0%	9,64%	0%

4. Conclusões

A forte associação entre os padrões de drenagem paralelo e ausente principalmente com as entidades tectônicas “domínios costeiros” e “coberturas superficiais” e com as unidades geomorfológicas “tabuleiros costeiros” e “planícies costeiras” é porque ambos são respectivamente correspondentes. Além disso, tais entidades e unidades geomorfológicas representam sedimentos de acumulações fluviais, complexos deltaicos, estuarinos e praias, ou seja, terrenos com condições propícias para o desenvolvimento de padrões de drenagem do tipo paralelo, caracterizados por se desenvolverem em grandes áreas, com uma única direção e paralelos entre si, principalmente em planícies costeiras amplas, sem controle estrutural.

Entretanto, os padrões de drenagem do tipo retangular e treliça são justamente caracterizados por este forte atuação estrutural afetando e controlando os cursos d'água. Neste trabalho esta característica fica clara principalmente na tabulação cruzada de padrões de drenagem com as principais estruturas geológicas. Nas áreas de atuação das estruturas, fica nítido a presença dos padrões retangular e treliça, o que reforça o fato das drenagens nestes locais ser caracterizadas por mudanças bruscas de direção e com ângulos de quase 90 graus, típicas de regiões estruturalmente complexas, com presença de falhas e/ou fraturas.

O padrão radial ocorre apenas em áreas restritas, associados à entidade tectônica “granitóides” e “bacias sedimentares proterozoicas”, além das unidades geomorfológicas “maciços do capará” e “patamares escalonados”. Tais evidências refletem que este tipo de padrão não é influenciado por nenhum tipo de estrutura.

Pode-se tirar como conclusão também que os padrões contorcido, dendrítico e subdendrítico não apresentam associação com nenhum tipo de estrutura geológica, unidade geomorfológica nem mesmo entidade tectônica no ES, ressaltando o fato destes padrões serem caracterizados por se desenvolverem em qualquer tipo de rocha e/ou morfologia.

Referências Bibliográficas

- Belém, J.; Dussin, I. A.; Pedrosa-Soares, A. C.; Alkmim, F. F.; Roncato, J. A Idade Cambriana do Feixe de Fraturas Colatina (ES) e suas Implicações na Tectônica de Bacias Brasileiras. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (SNET), 14, *VII International Symposium on Tectonics*, Chapada dos Guimarães, MT: SBG, 2013. CD-Rom.
- Coelho, A. L. N.; Junior, F. J. T.; Bergamaschi, R. B.; Goulart, A. C. O. Refinamento das unidades geomorfológicas do Estado do Espírito Santo com emprego de novas tecnologias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**: p. 1982-1989.
- Howard, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, v.51, n.11, p. 2246-2259, 1967.
- Mello, C. L.; Rodrigues, H. B.; Hatushika, R. S. Reativações tectônicas cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES). In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (SNET), Curitiba, PR: SBG: 2005. CD-Rom.
- Soares, P. C., Fiori, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Not. Geomorfol.*, Campinas. v.16. n.32, p.71-104, 1976.
- Vieira, V. S.; Silva, M. A. da; Corrêa T. R.; Lopes, N. H. B. Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo, escala 1:400.000. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral (SIMEXMIN), 6, 2014. Ouro Preto. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geobank/mapas/t/_blankwww.cprm.gov.br/geobank/mapas estaduais>. Acesso em 24, Abril, 2016.