

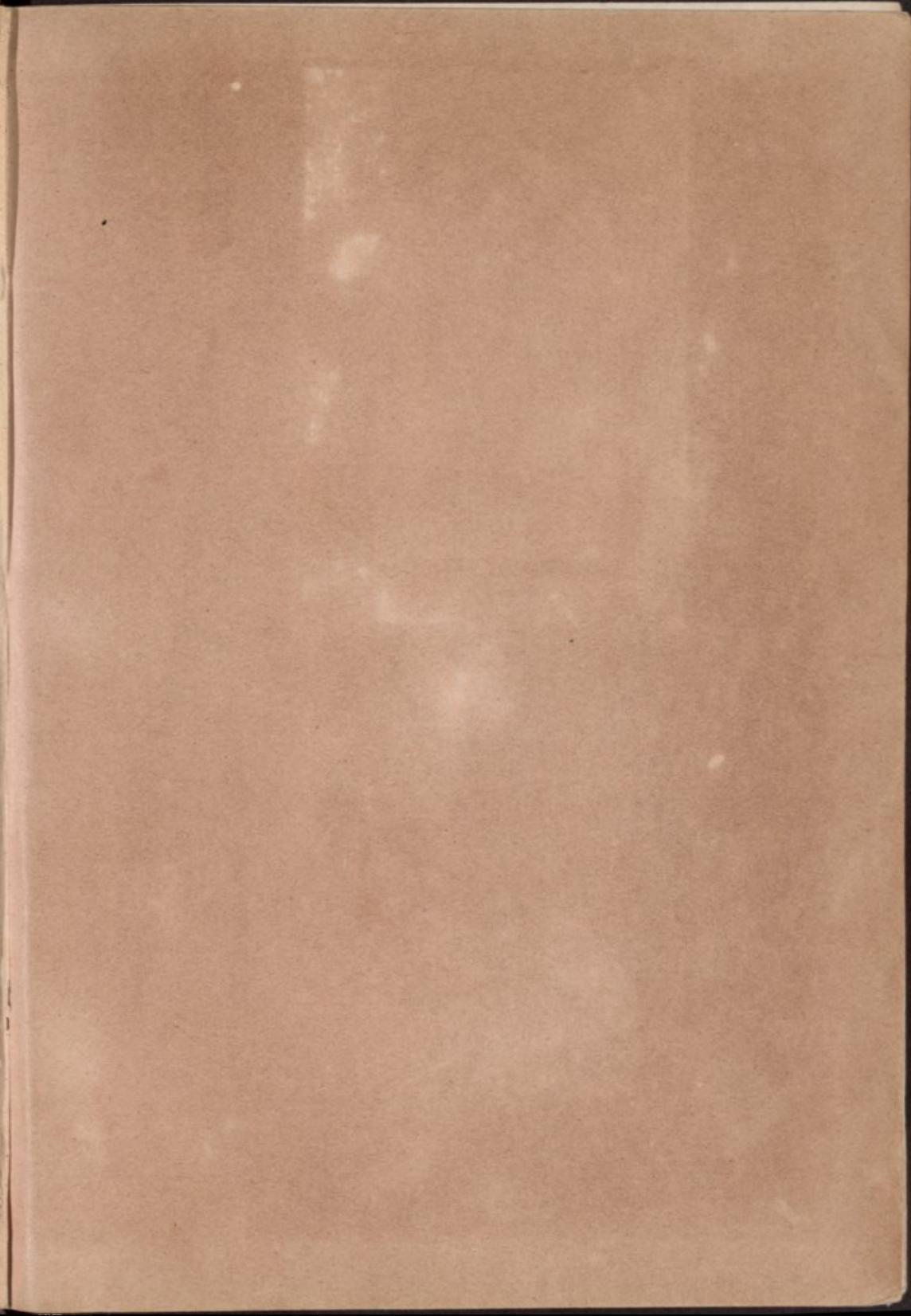
Sala 5
Gab. -
Est. 56
Tab. 19
N.º 31



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Biblioteca Geral



1301088707



ESTUDO

DE

GELEIRAS ACTUAES

ESTADO

ESTADO

ESTADO

CELLERAS VITIVAS

ESTADO

CELLERAS VITIVAS

GEOLOGIA

ESTUDO

SOBRE AS

GELEIRAS ACTUAES

POR

ANTONIO VENANCIO D'OLIVEIRA DAVID



COIMBRA
IMPRESA DA UNIVERSIDADE
1874

GEOLÓGIA

ESTUDO

DE
GELÉNIAS ACTUAES

DE



DE

COIMBRA

1872

1872

A
MEUS PAES

A
MINHA MULHER

E A
MEUS FILHOS

HISTORICAL
MUSEUM

AND DEPARTMENT OF
MUSEUMS

UNIVERSITY OF
TORONTO

UNIVERSITY OF TORONTO

DISSERTAÇÃO INAUGURAL

PARA O

ACTO DE CONCLUSÕES MAGNAS

NA

FACULDADE DE PHILOSOPHIA

DA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Este livro é dedicado aos estudantes de Física e Matemática, com o objetivo de apresentar os fundamentos da Teoria da Relatividade Especial e Geral. O texto aborda os conceitos de relatividade, a equivalência entre massa e energia, e as implicações da gravitação para a estrutura do espaço-tempo. A abordagem é rigorosa, mas acessível, permitindo que o leitor compreenda as bases físicas e matemáticas dessas teorias revolucionárias.

La science retrouve l'histoire perdue
de la planète dans la géologie.

E. PELLETAN.

Todas as sciencias naturaes são egualmente bellas e grandiosas; sendo diversos, á primeira vista, os assumptos tratados por cada uma, todas realmente se prendem em laço intimo para constituir o magestoso conjuncto a que se chama philosophia natural. Não póde com verdade dizer-se que uma d'ellas tenha maior importancia ou reuna mais attractivos do que qualquer das outras. Se assim não fosse, se, escutando as tendencias individuaes e as proprias predilecções, antes do que a razão, fosse possivel proclamar uma das sciencias da natureza como superior ás outras, não hesitariamos, pela nossa parte, em apontar a geologia como a mais bella entre todas.

A palavra *geologia* diz sciencia da Terra, e dizer sciencia da Terra o mesmo é que nomear aquella que, logo abaixo da astronomia, é a mais vasta e a que apresenta á intelligencia mais dilatado campo e ao mesmo tempo mais rico d'aquellas verdades que são os verdadeiros titulos de nobreza da nossa especie. Cada uma d'estas é uma conquista brilhante que homens superiores souberam e sabem fazer, arrancando á natureza, á força de talento e de genio, os segredos de que ella é tão avara.

São, todavia, tantas e tão diversas as cousas do nosso planeta, que nem podia o quadro d'uma só sciencia abrangel-as todas, nem o methodo scientifico que nos leva ao conhecimento d'umas podia servir para nos dar o conhecimento de outras. É por isso que a sciencia da Terra se reparte em sciencias differentes e de diversa indole; e assim é que a *geographia physica*, a *meteorologia* e a *geodesia* tratam da Terra, cada uma por seu modo, cada uma debaixo do seu ponto de vista particular; e, finalmente, a *geologia* é a historia natural do pla-

neta que habitamos. Poderia, deveria talvez ser a *geographia physica* incluída na *geologia*; não ha, com effeito, historia natural sem parte descriptiva; mas é ella só por si tão vasta, e é, por outra parte, tão indispensavel para a constituição de outras sciencias, como são a historia, a politica e mais algumas, tão indispensavel até, podemos afoutamente dizel-o, como elemento de primeira educação, que o uso tem consagrado o consideral-a em separado. Concordam todos, no entretanto, em que ella deve servir como de introdução absolutamente necessaria á *geologia*.

Deva embora a palavra *geologia* tomar-se num sentido mais restricto do que o etymologico; bem se vê que nem perdeu parte alguma da belleza, nem deixou de ser ainda vastissima a sciencia que ella designa. Todas as sciencias da natureza dão aqui ponto de reunião, todas se juntam e se combinam para nos elucidar ácerca d'esta nossa morada, de como ella é constituida, de como se tem constituido, e do papel que nella fazemos. Aprendemos com

ellas a significação d'esses signaes symbolicos com que está escripta a historia da Terra e que são como enigmas cuja decifração é sempre uma gloria de tão subido preço, que deve compensar de sobra os que consagram a vida á resolução d'estes problemas gigantes. D'ahi vem o chamar-se, com razão, á geologia uma vasta synthese.

A cada pagina d'esta grandiosa historia, que se consegue ler, mais se rasga o véo que teimava em occultar o que existia ha myriades e myriades de seculos, e apresentam-se velhos mundos onde surprehendemos a natureza no seu progredir imponente, lento e fatal. Vemos como a vida tem ido evolucionando, complicando-se cada vez mais as fórmulas com que se manifesta, adaptando-se sempre aos meios em que se vai desenvolvendo, que tambem vão sendo differentes com o decorrer das edades. Vemos como e quando se têm erguido as cadeias de montanhas, como se profundaram os valles, como se altearam as collinas, como, enfim, se têm accidentado de todos os modos os terrenos e se exca-

varam as fundas bacias onde se estendem os oceanos e os mares.

Uma sciencia como esta eleva o espirito e apura todos os sentimentos humanos. Em contacto, por assim dizer, com a natureza, familiarisando-se com as suas obras eternas, a intelligencia está mais á larga e os homens devem fazer-se melhores, porque sentem a mais bella das manifestações da consciencia, que é a consciencia do proprio valor. Somos sim organismos pequenos e insignificantes parasitas d'um mundo, que é tambem apenas um ponto no Universo immenso; e, todavia, nós, infinitamente pequenos, conhecemos que o somos; nós, infinitamente pequenos, devassamos a vida dos infinitamente grandes, vemos por que modificações elles passam durante tempos que a imaginação tem difficuldade em conceber e a linguagem impossibilidade em exprimir.

Poucos haverá para quem o estudo da historia não seja summamente agradável, e é, por certo, este um estudo dos mais excellentes. Que compa-

ração tem, todavia, com a historia da humanidade esta outra historia que a natureza escreve nas suas proprias obras com caracteres indeleveis?! A historia da humanidade não é, diga-se a verdade, senão um episodio, que sobremodo nos interessa, é certo, mas, emfim, um episodio do desenvolvimento da vida á superficie da Terra.

Com todos os acontecimentos e com todos os feitos que ella conta, para nós de tamanha importancia e que tão grave influxo têm exercido e exercem na vida da nossa especie, que tem ganho ou que tem perdido esta Terra, á custa de quem vivemos, e o Universo que a sustenta? Nada, absolutamente nada. Os agentes naturaes têm continuado a progredir na sua obra immensa, de que nos é impossivel descobrir principio e de que não podemos prever fim: dos grandes commettimentos humanos resta apenas, ás vezes, nem sempre, a memoria e mais nada. Esta mesma por quanto tempo durará?... A nossa especie nasceu, não sabe ao certo quando nem onde, é como os individuos, perdeu a memoria

do berço; mas, emfim, é certo que nasceu; pôde pois um dia extinguir-se se a vida procurar fórmulas melhores e organismos mais perfeitos para manifestar-se. Tudo o que é humano está irremediável e fatalmente condemnado a morrer; só aos agentes naturaes, ao Universo, é que não pôde prever-se acabamento, porque se nos apresentam como eternos.

A historia da humanidade deve pois parecer mesquinha a quem estuda a historia da Terra. Tamanha é a grandeza d'esta ultima!

E se a geologia vale tanto, considerada como sciencia pura; não é menor a sua importancia, se a consideramos nas suas applicações. As industrias agricola e mineira são talvez as principaes fontes de riqueza das nações, e para o proficuo exercicio de ambas é absolutamente indispensavel o conhecimento da crusta solida da Terra. Quem guia os primeiros passos da agronomia, quem lhe fornece os principios mais elementares é a geognosia. Ensinamos esta o que é a terra vegetal; mostra-nos

qual deve ser, segundo a sua proveniencia, a acção physica, chimica e mechanica sobre as plantas que nella vivem; explica-nos como certa especie de subsolo deve influir na camada aravel, já repressando ou deixando passar a agua, já misturando os detritos com os elementos da camada activa; elucida-nos a respeito do regimen das aguas; indica-nos como e quando devemos corrigir as terras e onde podemos encontrar os convenientes correctivos. Seria, emfim, longo apontar todos os auxilios que a geologia presta á agricultura; e que esta é impossivel sem aquella é o que se deprehende já. É tambem sabido que as praticas que dizem respeito á arte de minas assentam pela maior parte em principios geognosticos.

E nem são estas duas sciencias applicadas as unicas que se soccorrem dos conhecimentos que a geologia dá. Estudando a constituição medica d'um logar, nunca o medico esquece o elemento geologico, pois que são preciosissimas as indicações que este póde fornecer-lhe. Para assentar um campo,

para executar trabalhos de fortificação, para garantir uma praça de guerra são indispensaveis ao militar conhecimentos de geologia; nem ha ramo algum de engenharia que d'elles possa prescindir. Dentre as bellas artes, á esculptura e á architectura interessám os materiaes de construcção e as indicações ácerca dos seus jazigos; e é ainda a geologia a que fornece estas indicações.

É de tudo isto e do muito mais que a este respeito se poderia dizer que deriva essa grande verdade, que se manifesta com tanta evidencia e d'uma maneira tão notavel, e na qual grande numero de auctores têm instado tanto e d'um modo tão elegante: — que o character moral d'um povo está intimamente ligado com a natureza do terreno em que esse povo habita; que até os traços geraes da sua historia se podem deduzir do aspecto dos lugares em que os acontecimentos se passaram. É que a Terra é, com effeito, e a todos os respeitos, a nossa mãe commum.

Nisso que ahi fica exposto vai a razão que nos

determinou a procurar na geologia o assumpto do trabalho que vamos emprehender.

Relanceando a vista pelos vastos dominios da historia da Terra, vemos uma successão de factos, cada um dos quaes póde só por si ser objecto de aturado estudo e de longas considerações. Verificar que se deu um certo acontecimento, marcar-lhe a data geologica, indagar quaes foram as circumstancias que o precederam como causa e as que o seguiram como effeito, são outros tantos pontos que têm dado e dão assumpto para as mais largas discussões, e onde ha campo vasto para as opiniões mais encontradas. E assim ha de continuar a ser por algum tempo, porque, forçoso é confessal-o, a geologia, com o character incontestavel de sciencia que hoje tem, é modernissima, está ainda recolhendo materiaes, e, com um futuro rico de bem fundadas esperanças, tem ainda o presente agitado e cheio de incertezas, a ponto de que é pouca toda a prudencia quando se trata de discriminar o que é positivo e certo do que é incerto ou simplesmente provavel.

Não é facil escolher, entre as varias questões que se agitam no dominio d'esta sciencia, uma que sirva de assumpto para um estudo como este que vamos encetar. Ha, todavia, um periodo na historia da Terra, para onde particularmente tem convergido nestes ultimos tempos a attenção dos geologos: escolher ahi o assumpto que procuravamos era o mais natural, e foi o que fizemos.

O periodo a que nos referimos é o que se chama quaternario, post-terciario, post-pleioceno, ou pleistoceno, e com bom direito tem elle attrahido a attenção, não só dos que são especialmente geologos, mas ainda dos paleontologistas em geral, e em particular dos anthropologistas. É este o ultimo periodo da historia da Terra, e parece que a natureza se esmerou em ostentar ahi o poder e a energia de todos os seus agentes. Ou, talvez, porque todos os acontecimentos que então se passaram são menos antigos, estão melhor conservados os documentos por onde estudamos a historia d'esse tempo, e mais avultam, por isso, os factos e mais nos im-

pressionam do que os acontecidos em edades mais antigas, de que os documentos incompletos e deteriorados apenas nos dão uma idéa confusa.

O que é certo é que nesse periodo houve mudanças de clima extraordinarias, houve levantamentos e abaixamentos, emersão e immersão de continentes, emigrações e renovamentos de faunas e floras. Junte-se a isto a fraca espessura dos sedimentos e o seu character irregular e pouco pronunciado, a confusão dos materiaes e a falta de symetria e continuidade na sua disposição geral, e ahí temos o que já basta para tornar interessante e difficil o estudo d'esta parte da historia do nosso planeta.

Mas, como se tudo isto não bastasse, são ainda de natureza a provocar o maximo interesse, têm até sido tratados com paixão alguns problemas, cuja resolução depende d'este estudo. Aqui se descobrem os vestigios da infancia da nossa especie; assim mais factos vão apparecendo, que de cada vez derramam mais luz sobre as momentosas dis-

cussões ácerca da nossa origem; e assim conseguimos fazer uma idéa approximada da nossa idade, e ligar os tempos de que apenas conservamos uma noção vaga pelos mythos e pelas tradições aos tempos aonde não chegam nem a tradição nem a historia. Aqui, estudando as variações de clima, agitam-se as importantissimas questões de climatologia e das relações da Terra com os outros corpos do Universo. Finalmente aqui é o campo onde mais apaixonadamente se têm travado essas tristes e estereis lutas entre a sciencia e a religião. As origens e a idade da nossa especie e a existencia, provada ou não provada pela geologia, do diluvio de Moysés são os pontos principaes onde se tem dado o embate das opiniões oppostas.

Chamámos tristes e estereis ás lutas entre a sciencia e a religião e, com effeito, por taes as temos. Custa a ver homens de talento brilhante e provado engenho consumindo a intelligencia e o tempo a mostrar o desacordo entre as conclusões scientificas e a letra das Escripturas. Custa a ver

outros, antepondo a fé á razão em materia de sciencia, esquecerem-se de que o fim d'esta é só a conquista da verdade á força de trabalho consciencioso e de intelligencia desassombrada de preconceitos, e que nada ha que valha contra uma verdade assim conquistada, nem cousa alguma existe que seja capaz de sustar a marcha da razão, que é certa, poderosa e fatal como o progresso que representa.

Depois não é raro encontrar de parte a parte muita falta de boa fé, descomedimento na linguagem, invectivas e injurias a que leva a paixão, mas que altamente destoam da gravidade e compostura que nunca devem faltar em quem discute os grandes problemas scientificos, compenetrado do que deve a si, á magestade da sciencia e ao elevado fim que se propõe.

Que lucram o methodo e as doutrinas scientificas em que uma ou outra conclusão esteja ou não de acordo com o que está escripto nos Livros Santos? Absolutamente nada: se o acordo existe, nem por isso a conclusão fica melhor confirmada, nem se

torna mais digna de credito; se não existe, lá estão os exegetas habéis e os commentadores profundos para o fazerem apparecer onde olhos profanos o não viam; é essa a sua missão, e já em muitos casos tem sido provada a habilidade com que sabem desempenhal-a. Não são as Escripturas sagradas quem têm feito a sciencia; é, pelo contrario, á luz d'esta que aquellas têm sido interpretadas e comprehendidas, dizem-no os que têm empregado o seu vasto saber e as suas robustas intelligencias nesses difficeis trabalhos de interpretação.

Quando, apesar de todos os esforços, não é possível harmonisar os dizeres d'uma com o que a outra ensina, responde-se d'esta maneira: «Trata-se aqui d'um acontecimento *praeter naturam*, que não deve ser julgado pelas leis naturaes, unicas que a sciencia empirica conhece. Esta póde dizer se um acontecimento se póde dar em a natureza conformemente com as leis naturaes que descobriu; mas não poderia decidir se tal facto, que não é conforme com as leis ordinarias da natureza, se

deu realmente; com effeito, faltam-lhe todos os meios quando se trata de examinar questões d'estas. A questão da possibilidade do milagre não é do dominio da sciencia natural ¹. Vê-se bem que, effectivamente, o homem de sciencia profana nada tem que fazer aqui; o que lhe resta é interpretar a natureza sem preocupação d'ordem alguma, com independencia e desassombro. A historia diz que é d'este procedimento que tem resultado para a nossa especie a riqueza moral e material que hoje desfructa.

A geologia, pela sua indole e character especiaes, é uma das sciencias que mais se têm achado involvida nestas lutas, que, desgraçadamente, ainda não pertencem á historia. Fallando da geologia em geral e do periodo quaternario em particular, não quizemos pois deixar de tocar neste ponto melindroso; não queriamos que o nosso silencio fosse deitado á

¹ Henri Reusch — *La bible et la nature*, trad. de l'abbé Xavier Hertel.— Paris, 1867, pag. 379,

conta de timidez ou de qualquer outro sentimento menos justificavel. Mas pomos já aqui fim a este incidente para reatar o fio do que iamós dizendo.

Sendo as variações de clima o facto exclusivamente geologico que mais avulta no periodo quaternario, e ácerca do qual mais se tem escripto nestes ultimos tempos, foi para ahí naturalmente chamada a nossa attenção, e pareceu-nos que não seria dos menos importantes um estudo sobre o que a este respeito se tem dito.

Propunhamo-nos estudar o chamado periodo glacial, esse periodo durante o qual as geleiras ¹, que

¹ Parece-nos que a palavra portugueza — *geleira* — designa, rigorosamente, essas cavidades subterraneas, naturaes ou artificiaes, onde o gelo se fórma e se conserva ao abrigo dos raios solares, e assim traduz a palavra franceza — *glacière*. — O uso, todavia, tem consagrado o empregal-a para significar o notavel phenomeno geologico, que os francezes chamam — *glacier*: — é neste ultimo sentido que empregamos a palavra — *geleira*. —

hoje vemos limitarem-se apenas a algumas regiões, se estendiam por um espaço incomparavelmente maior dando á superficie da Terra um aspecto inteiramente diverso do que ella agora tem. Tinhamos que examinar as provas irrecusaveis que attestam a existencia d'este estado de cousas, e indagar se tudo isso se deu uma vez só, durante o periodo quaternario, ou mais d'uma vez; se houve só um periodo glacial, como alguns querem, ou mais d'um, como pretendem outros. Depois, e era esta parte mais importante, tinhamos que procurar quaes as circumstancias que tinham determinado este notavel acontecimento, que clima reinava então e quaes eram os seus factores. Tinhamos que escolher alguma ou algumas hypotheses entre o sem numero das que a este respeito se tem aventado, porque é este um dos assumptos da geologia para que a imaginação, só e nem sempre bem dirigida, tem concorrido com mais farto contingente.

Foi preparando-nos para este estudo que mais nos convencemos d'uma verdade, que já antes ti-

nhamos como tal, e que nos parece d'uma importancia decisiva em geologia: — é que, seja qual for o acontecimento geologico que nos propunhâmos estudar, a primeira cousa que devemos fazer é procurar qual é na actualidade o seu representante; depois estudal-o aqui com a maxima attenção, o mais detidamente possivel e sem deixar escapar particularidade alguma. Este estudo previo é como uma luz nova, que nos faz ver melhor o facto que se passou nos tempos antigos, é auxilio e guia indispensavel quando queremos reconstruir na idéa o mundo de outras eras. Prescindir d'este auxilio e deixar a imaginação phantasiar livremente não é fazer sciencia, é fazer romances. Taes foram, com effeito, as producções da antiga geologia, e tão bem mereceram este nome, que hoje ainda ha quem, confundindo os antigos devaneios com a sciencia moderna, diga que a geologia não é mais do que uma serie de «romances de imaginação.»

Foi do estudo attento dos phenomenos geologicos que se estão passando na actualidade que resultou,

na primeira metade d'este seculo, uma modificação importante nas doutrinas geologicas: referimo-nos ao apparecimento da chamada doutrina das *causas actuaes*, em opposição á chamada dos *cataclysmos* ou *catastrophes*. Foi uma era nova em que entrou a historia natural da Terra, e não hesitamos em dizer que de então para cá é que ella conquistou os fóros de verdadeira sciencia e mereceu o bello lugar, que hoje ninguem legitimamente lhe póde contestar, entre as outras suas irmãs mais velhas.

A nova doutrina teve difficuldades em ganhar proselytos, nem admira; é o que acontece sempre com todas as doutrinas novas, e tanto mais quanto maior é o seu alcance. Os catastrophistas, capitaneados por Cuvier e Alcide d'Orbigny, offereceram dura resistencia aos innovadores dirigidos por Constant Prévost e Ch. Lyell; e, forçoso é confessal-o, a velha eschola ainda hoje tem representantes, e alguns de muito bom nome. Mas já differem as opiniões d'estes tanto das dos primitivos catastrophistas, que não hesitamos em affirmar que de

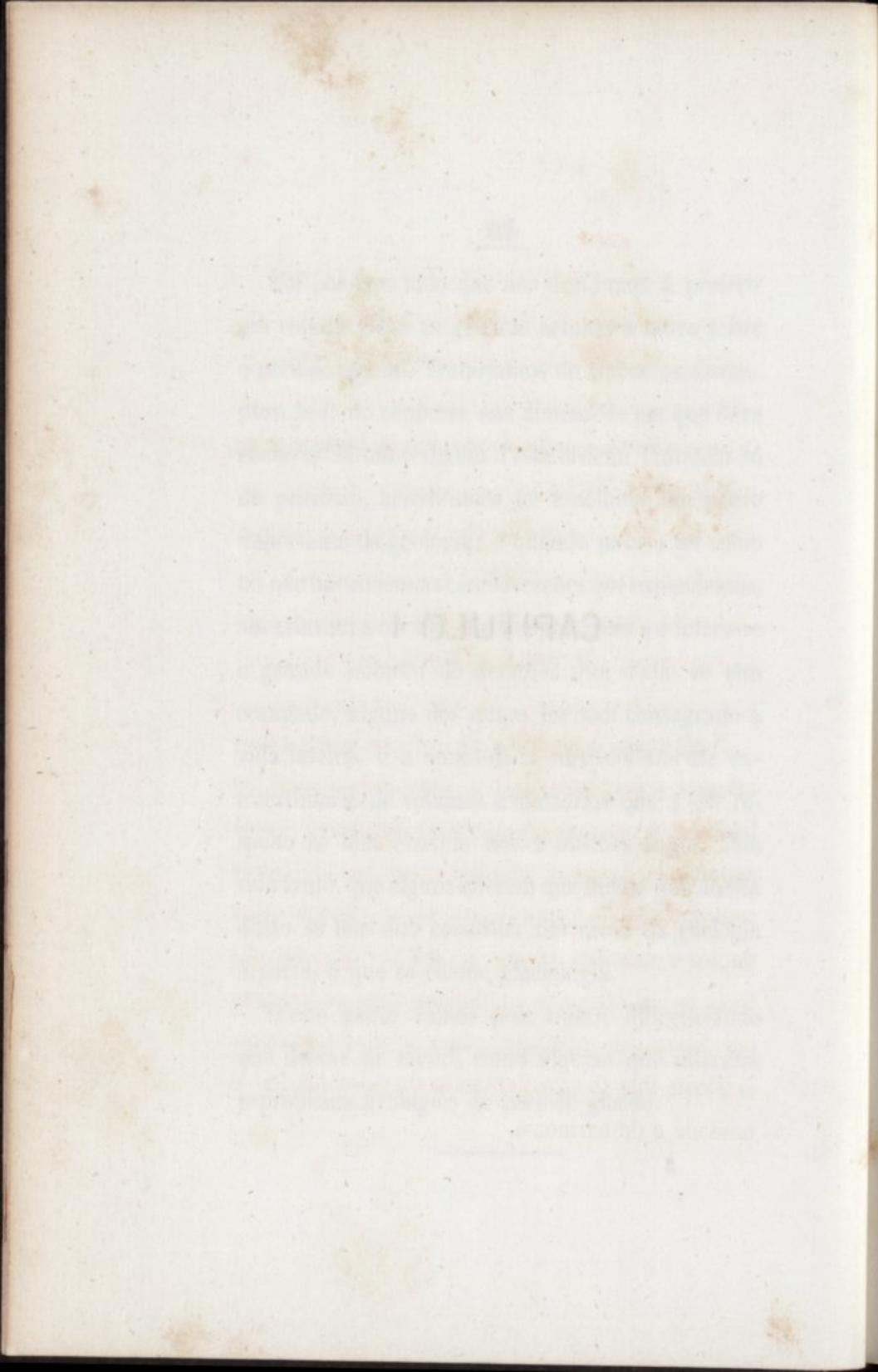
concessão em concessão irão os ultimos cedendo o passo ás idéas novas, e a theoria das causas actuaes será em pouco tempo a unica que domine em geologia, como já é a preponderante.

O que é certo é que hoje já quasi todos concordam, independentemente de qualquer eschola, o que já não é pequeno progresso, em que é impossivel a geologia sem um conhecimento profundo dos phenomenos geologicos actuaes. E o estudo do que se tem escripto ácerca do facto em que iamos fallando, do periodo glacial, é, como já indicámos, o mais proprio para dar o convencimento d'aquella verdade. O que se escrevia a respeito d'esse periodo antes de haver o conhecimento que hoje ha das geleiras actuaes, não era mais do que um acervo de hypotheses, algumas das quaes puramente gratuitas; e até se punha em duvida a authenticidade do phenomeno, porque, não sabendo como actuavam os gelos, não podiam ser evidentes as provas que attestavam a sua acção sobre os terrenos em outras eras.

Foi por isso tudo que nos decidimos a preferir um estudo sobre as geleiras actuaes a outro sobre o periodo glacial. Tratariamos de ambos os assumptos, se tanto coubesse nas dimensões em que deve encerrar-se um trabalho d'esta ordem. Tratando só do primeiro, acreditamos ter escolhido um ponto importante da geologia; e quando para o ter como tal não bastassem as considerações que expendemos, ahi estavam a abonar-lhe a importancia e o interesse o grande numero de auctores que d'elle se têm occupado, alguns dos quaes lhe têm consagrado a vida inteira, e a quantidade verdadeiramente extraordinaria de volumes e memorias que a este respeito se têm escripto nestes ultimos annos. Tem sido tanto, que alguns querem que tudo o que ácerca d'isto se tem dito constitua um ramo da geologia á parte, a que se chame glaciologia.

D'este ponto vamos pois tratar, diligenciando não deixar no escuro cousa alguma que interesse o problema geologico do periodo glacial.

CAPITULO I



O Sol e a Terra — Acção solar sobre as aguas e sobre as terras — Chuvas.

I

O Sol e a Terra

Nada existe á superficie da Terra de que se possa afirmar a permanencia e a quietação; a immobillidade e o repouso são apenas uma illusão e uma apparencia. O que é verdadeiro e real é o movimento contínuo de tudo o que nos rodeia, movimento cujos muitos e variados modos se derivam uns dos outros, se ajuntam e se combinam como se tivessem um fim a que satisfazer, como se uma força pre-existente lhes tivesse d'antemão traçado uma lei de unidade e de harmonia.

Para os phenomenos diversos e para as modificações continuas de que o nosso planeta é theatro concorrem as tres partes que o constituem, solida, liquida e gazosa; a primeira, em geral, passivamente, e as outras duas d'uma maneira activa e cada uma por seu modo. A resultante das acções de todas é a actividade propria do globo, é a que o faz parecer com um organismo vivo, é a que dá a cada região o seu aspecto caracteristico, o seu clima, a sua flora, a sua fauna, e até a cada povo o seu character distincto.

Mas agua, ar e terra são agentes subordinados. Alguma cousa ha que domina tudo o que se passa á superficie d'este planeta, dando o primeiro impulso a todos os movimentos e derramando por toda a parte a luz e a vida: — é a acção do Sol. De todas as influencias que este astro exerce a calorifica é, por ventura, a que produz os mais variados effeitos, e no caso particular de que vamos occupar-nos é com certeza essa a que mais nos interessa.

Recordemos, todavia, antes de vermos actuar o calor do Sol sobre a Terra, as relações de posição entre um e outra.

Com uma velocidade media de 30 kilometros por segundo percorre a Terra a sua orbita elliptica de que o Sol occupa um dos fócios, e nunca, por isso, em dois momentos consecutivos, aquella se acha á mesma distancia d'este. Quando mais afastados, no aphelio, ha entre a Terra e o Sol proximamente 150 milhões de kilometros, quando mais perto, no perihelio, 145 milhões, e a distancia media entre uma e outro calculou-se, com approximação, igual a 147 800 000 kilometros.

Como está combinado o movimento de translação com o de rotação, o calor do Sol é alternadamente recebido num e noutro lado do espherode terrestre. Se o eixo dos polos fosse perpendicular ao plano da orbita, distribuir-se-ia o calor d'uma maneira perfeitamente symetrica, seria sempre maximo no equador, sitio unico onde os raios incidiriam normalmente, e iria diminuindo para um e

outro lado d'esta linha até aos polos, onde, sendo maxima a inclinação, o calor seria minimo. Não haveria as grandes noites polares, nem a grandeza dos dias dependeria dos logares que o planeta fosse occupando no percorrer da sua orbita. Seria o aspecto que a Terra apresentaria então muito differente do que apresenta agora.

Todavia, como é sabido, não é este o caso que se dá: entre o plano da ecliptica e o eixo da Terra ha um angulo de $23\frac{1}{2}^{\circ}$ proximamente. As consequencias d'esta inclinação são evidentes. Não é uma linha só a que recebe a maior quantidade de calor, é uma zona inteira comprehendida entre dois parallelos, os tropicos, que distam um do outro 47° e ambos do equador $23\frac{1}{2}^{\circ}$. E durante uma revolução annual da Terra cada um dos hemispherios recebe uma vez mais luz e mais calor do que o outro, ficando sempre um dos polos, durante uma semi-revolução, a perder o calor que tinha recebido durante a outra. Daqui vêm as estações e a divisão das zonas ou climas astronomicos, numa zona ou

clima torrido, em duas zonas ou climas temperados e em duas zonas ou climas glaciaes.

Mas porque a Terra descreve uma ellipse, de que o Sol occupa um dos fócios, não é a velocidade de translação egual em todos os pontos da orbita; por isso ha a desigualdade na duração das estações. No estado actual das cousas é o nosso hemispherio o que, tendo o verão em aphelio e o inverno em perihelio, tem a estação quente 8 dias, pouco mais ou menos, mais longa do que a do hemispherio austral; e a estação fria mais curta.

II

Acção solar sobre as aguas e sobre as terras

Incidindo sobre a Terra os raios solares encontram primeiro camadas gazosas; ahí o vapor de agua espalhado na atmosphaera rouba-lhes parte

do calor; mas é insignificante o resultado de tal absorpção. Póde quasi dizer-se que só indirectamente é que o calor do Sol actua sobre o ar: acção manifesta e decisiva é a do calor escuro reflectido pela Terra.

Atravessadas as camadas gazosas, as ondas calorificas encontram a superficie solida e a superficie liquida. Quando encontram a superficie solida aquecem-na, nuns sitios mais e noutros menos, conforme a natureza do terreno; tornam-n'a assim em centro de irradiação tambem mais ou menos intensa, conforme o poder emissivo da parte que irradia. O ar que está em contacto com essa superficie póde aquecer-se ou deixar passar grande parte do calor, segundo a maior ou menor quantidade de vapor de agua que em si contém. O vapor aquoso tem, com effeito, a propriedade de absorver o calor escuro, ao passo que é insignificante o poder absorvente do ar secco para ambas as especies de ondas calorificas, quer luminosas, quer escuras.

É pois claro que onde o ar contiver vapor de

agua aquecer-se-á por via d'elle ao contacto da terra que recebeu o calor directamente do Sol; e onde estiver muito secco, o que felizmente é raro, o calor perder-se-á quasi completamente, sendo irradiado para o espaço, em quanto subtrahida a parte que irradia á influencia solar directa. É o que acontece nos climas continentaes quentes, onde a elevada temperatura dos dias contrasta tão notavelmente com o frio intenso das noites. A atmospherá com o seu vapor de agua é uma cobertura quente que guarda a Terra do frio do espaço como as roupas de que usamos nos guardam do frio do ar ¹.

Vejamos agora o que se dá quando as ondas calorificas encontram a superficie liquida. O seu primeiro effeito é activar a passagem do liquido a vapor, e por isso aquecer a agua menos do que a terra; depois é aquecer o ar que está em contacto

¹ Helmholtz — *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 433; Tyndall — *Sur la radiation*, trad. de l'abbé Moigno. — Paris, 1868, pag. 45.

com esta superficie. Menos quente, todavia, fica este do que o que está em contacto com a superficie solida, porque parte do calor se gasta em produzir a mudança de estado.

O modo desigual porque o Sol actua sobre as aguas e sobre as terras determina na atmosphera as correntes aereas. São estas correntes as que, segundo vêm de sobre os continentes ou de sobre os mares, de elevadas latitudes ou de regiões quentes, assim levam a humidade aos climas que sem ellas seriam seccos, ou enchugam os que seriam humidos, e refrescam aquelles onde reinariam temperaturas demasiadamente altas, ou aquecem outros onde o frio seria intenso. Reguladores da humidade e da temperatura os ventos são pois um elemento predominante entre todos os que constituem um clima.

E que os climas dependem da distribuição das terras e dos mares é o que já póde concluir-se do que brevemente acabamos de expor. É assim que, por exemplo, podemos já ver como o hemispherio austral deve ser mais frio do que o boreal: — a

desequaldade das circumstancias astronomicas em que se acham um a respeito do outro dava uma idéa de como isto podia ser; o predominio das terras no do norte e o das aguas no do sul dá a certeza de que assim ha de acontecer, e, de resto, é este um facto que a observação plenamente confirma.

III

Chuvas

Dissemos já que o primeiro effeito do embate das ondas calorificas sobre a superficie liquida era a passagem do liquido a vapor. Faz-se esta mudança de estado em tanto maior escala quanto maior é a quantidade calor, e o ar onde se espalha o vapor produzido tem para este tanto maior capacidade quanto mais quente está. As correntes aereas misturam depois as differentes camadas gazosas, derramando por toda a atmospheria o vapor de agua

que os mares fornecem e activam ainda a vaporização, renovando o ar sobre as aguas.

Não está á mesma temperatura toda a massa de ar que circumda o Globo, são nella frequentes as causas de resfriamento. São mais frias as camadas mais altas: o ar que se eleva, porque o seu volume augmenta, gasta calor; e do embate de duas correntes, uma quente e outra fria, resulta para a primeira um arrefecimento. Não esquecendo que a capacidade do ar para o vapor de agua diminue mais rapidamente do que a temperatura, prevemos que parte da agua contida no ar que esfria deve passar de gazosa a liquida. É, com effeito, o que acontece: — em toda a parte onde houver ar humido e sobrevier uma causa de resfriamento, seja ella qual for, o ar tornar-se-á opaco, de limpido e transparente que era, da mesma maneira que ao contacto do bafo se embacia a superficie mais polida e mais brilhante.

São pequenissimas particulas de agua liquida as que tiram a transparencia ao ar, juntando-se como

poeira finissima. Assim se formam as nuvens quando o arrefecimento se dá nas camadas mais elevadas; quando se dá nas baixas apparece o nevoeiro ou cacimba que muitos meteorologistas definem — uma nuvem que toca a terra. Não é só agua liquida a que constitue as nuvens: nas camadas mais altas da atmosphaera, a 7 000 metros, pouco mais ou menos, as chamadas *cirrus* são formadas por pequenas agulhas de gelo.

As pequenissimas particulas de agua liquida que fluctuam na atmosphaera podem transformar-se em gotas que, por mais pesadas, cahem para as camadas inferiores, atravez das quaes chegam até ao solo, se pelo caminho não se vaporisam novamente por encontrarem temperaturas mais elevadas. Concorrem para que isto aconteça o resfriamento augmentando a condensação do vapor, e a agitação contínua do ar fazendo com que as pequenas particulas liquidas se choquem umas nas outras.

Assim se produz a chuva, phenomeno que, trivial e frequente em quasi todas as regiões do globo,

não é menos d'uma importancia capital, já pelo papel que representa na economia terrestre, já porque sobremodo interessa material e moralmente a vida da nossa especie. Forçoso é, porém, deixal-o poisque outro que mais directamente prende com o nosso assumpto principal reclama agora a nossa attenção.

CAPITULO II

CAPITULO II

Quédas de neve — Neves persistentes, altitude e latitude — Limites das neves persistentes.

I

Quédas de neve

Um abaixamento de temperatura é o que faz condensar o vapor de agua em nuvem e o precipita em agua liquida; um abaixamento ainda maior é o que o faz crystallisar e cahir em neve. Crystallisar, dizemos, porque effectivamente as moleculas de vapor de agua, unindo-se, arranjam-se de modo a apresentar figuras perfeitamente regulares e definidas, que são verdadeiros crystaes. É ás centenas que se contam as fórmias que a neve apresenta, e entre ellas predomina a de estrellas com

seis raios. E assim como um corpo qualquer precisa, para crystallisar, que a dissolução em que está contido não soffra a mais leve agitação, assim é necessario que o ar, em que o vapor de agua está *dissolvido*, se conserve em completo estado de quietação, para que a neve possa dispor-se em figuras regulares e symetricas.

Ora as causas que agitam o ar são frequentes, e d'ahi vem que tambem com frequencia, até na grande maioria dos casos, a neve que chega á terra não se apresenta distinctamente com as fórmas de que fallámos. Cahe mais ordinariamente em flocos, em poeira fina e num estado mais ou menos granuloso, e só nas regiões muito frias e onde o ar tiver uma quasi immobilidade é que se apresenta com as suas figuras elegantes e delicadas.

E ainda que estas figuras cheguem a formar-se quando a agua se solidifica, não chegam geralmente intactas á superficie da terra. As camadas mais quentes da atmosphaera, que a neve atravessa durante a quéda, são o que basta para determinar um

principio de fusão nestes pequenos crystaes, e dar assim logar a *monstruosidades* de toda a ordem. E até a que em regiões superiores era neve póde, ao atravessar as camadas mais quentes, fundir-se de todo e chegar ao termo do seu caminho no estado liquido; é assim que muitas vezes está chovendo no valle ao mesmo tempo que está nevando no monte.

Mas é principalmente o vento o que contribue em larga escala para a producção d'aquellas *monstruosidades*, já perturbando a crystallisação no seu principio, já impellindo uns contra os outros os crystaes depois de formados. Por ser este o agente que assim desmancha estas *flores de agua*, como lhes chama Tyndall, é claro que nos sitios onde as correntes de ar forem frequentes e de direcção inconstante, mais variadas e mais irregulares serão as fórmas da neve. E não só a inconstancia na direcção dos ventos dá á neve apparencias diversas, mas ainda em muitos casos certas direcções determinam certas fórmas particulares.

É facil de ver a razão d'isso. Lembremo-nos que, segundo a procedencia, póde uma corrente aerea ser fria e secca, ao passo que outra com direcção differente póde ser quente e humida; vê-se bem que, dando-se a primeira durante a quéda da neve, os crystaes podem quebrar-se, mas cahem soltos e seccos; e dando-se a segunda, os crystaes, porque humedecem, agglomeram-se e cahem em frocos. É isto que se observa muito bem nos Alpes, onde a instabilidade na direcção dos ventos é tal, que durante uma hora se póde ver o ar ora socegado em perfeita calma, ora correndo successivamente de pontos cardeaes oppostos.

Acabâmos de ver que a existencia do vapor de agua na atmosphaera e a de temperaturas sufficientemente baixas para determinar a solidificação d'essa agua, são as condições indispensaveis para que tenha logar a quéda da neve á superficie da terra. E concorrem ellas para a realisação do phenomeno na ordem por que as apontâmos, quer dizer, se o calor não tiver previamente fornecido o vapor de agua

ao ar que passa ou que persiste sobre uma região qualquer, nunca poderá o frio, por mais intenso, fazer com que a neve ahi caia.

II

Neves persistentes, altitude e latitude

De tal modo se acham na actualidade as cousas dispostas á superficie da Terra, que as condições se realisam para que a agua solida de procedencia atmospherica appareça em todas as suas zonas.

Ha, com effeito, entre os tropicos, onde a acção do calor solar é mais intensa, mais aguas do que terras, relação esta que se mantém em todo o globo tomado no seu conjuncto; e as correntes aereas actuam de maneira que renovam activamente sobre os oceanos as camadas gazosas. Depois as baixas temperaturas encontram-se já, em geral, nas elevadas latitudes, já nas alturas acima do nivel do mar.

As montanhas são, na verdade, excellentes condensadores para o vapor de agua: — a cobertura que ali agasalha a Terra é mais delgada ¹; o ar que sóbe pelas vertentes dos montes esfria porque se dilata, e tambem gasta calor a evaporação, tanto mais abundante e facil quanto maior é a altura.

A estas causas de resfriamento junta ainda Tyndall o poder irradiante do vapor de agua, a respeito do qual se exprime assim: — «Parece-me que se não póde duvidar do papel muito activo que a energia extraordinaria da agua, considerada como corpo irradiante, *em todos os seus estados de aggregação*, deve desempenhar nas condensações incessantes que têm logar nas regiões das montanhas. No estado de vapor a agua dispersa o seu calor no espaço e provoca a propria condensação; no estado liquido dispersa o seu calor no espaço e provoca a propria

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*. — Paris, 1873, pag. 192; Helmholtz — *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 433.

congelação; no estado de neve dispersa o seu calor no espaço e dá ás superficies onde cabe um poder condensador que sem ella não teriam. Entre as propriedades tão numerosas e tão maravilhosas da agua não é a menos importante o poder extraordinario que possui de ceder o seu movimento calorifico ao ether interestellar ¹.

O aspecto que nos apresentam as montanhas elevadas das regiões temperadas e quentes é bem proprio para nos fazer sentir este facto do resfriamento:—á medida que subimos até ao sitio onde ha só neve vai a vegetação diminuindo em quantidade e mudando de qualidade de tal modo, que bem pôde dizer-se d'uma maneira geral que altitude vale latitude. E, facto notavel este, as montanhas diminuem de importancia quanto á altura á proporção que se acham em latitudes mais elevadas, quer dizer, nas regiões intertropicaes é

¹ Tyndall — *La chaleur mode de mouvement*, trad. de M. l'Abbé Moigno.— Paris, 1874, pag. 383.

que se levantam a maiores alturas, e d'ahi diminuem até ás polares onde são insignificantes, como se tivesse havido o proposito de pôr ao pé dos calores mais rigorosos os frios mais intensos.

« Assim, na economia do globo as terras elevadas representam o norte em pleno sul, approximam todos os climas do planeta e todas as estações do anno. Os *platós* são, por assim dizer, pequenos continentes emergindo do seio das planicies e, como os grandes continentes limitados pelo mar, apresentam no conjuncto dos seus phenomenos uma especie de resumo dos da Terra inteira: são outros tantos microcosmos. Centros vitaes do organismo planetario, elles fazem parar os ventos e as nuvens, derramam as aguas, modificam todos os movimentos que se executam á superficie do globo. Em virtude do circuito incessante que se produz entre as saliencias do relevo continental e os dois oceanos, das aguas e da atmosphaera, os climas dispostos ao longo dos flancos dos *platós* misturam diversamente

e põem em contacto umas com as outras as floras, as faunas, as nações e as raças humanas ¹.

Vê-se pois que onde faltam, para solidificar a agua atmospherica, as baixas temperaturas das elevadas latitudes ha o frio das regiões montanhosas.

E não só em todas as zonas do globo se póde depositar a agua que se solidificou no ar, mas até em todas póde persistir, quer dizer, em todas póde haver logares sempre cobertos de camadas de neve. E são estas as que, no estudo que vamos fazendo, nos devem prender a attenção. Nada temos que ver com as neves que desaparecem, mais ou menos rapidamente, no mesmo dia em que se depositaram, ou na estação seguinte, quer dispersas pela acção dos ventos, quer fundidas pelo calor do Sol.

No que deixámos escripto ha dados para concluir que, havendo em todas as zonas terrestres

¹ Élisée Réclus — *La Terre.* — I. Les continents. — Paris, 1870, pag. 129.

logares onde a neve é persistente, serão estes geralmente mais elevados nas latitudes baixas e mais baixos nas latitudes altas. Não ha, comtudo, outra relação entre as latitudes e a altura a que agua depositada na estação fria não funde totalmente na estação quente.

O desaparecimento ou a permanencia das neves dependem principalmente da temperatura, e não só da temperatura media annual, mas, e ainda mais, da differença entre a media do inverno e a do verão: — haverá probabilidades de que se conservem as neves que se amontoaram durante o inverno, se o verão fór curto, ou brando ainda que longo; não as haverá, se o verão fór longo, ou rigoroso embora curto.

As chuvas, os ventos quentes, os nevoeiros, e os ventos impetuosos são outros tantos agentes que se oppõem á conservação das neves; os tres primeiros determinando directamente a fusão, e os ultimos varrendo-as de sobre a terra e espalhando-as no ar e pelas regiões inferiores onde a fusão é rapida.

Ora nenhum d'estes elementos varia proporcionalmente ás latitudes, nem o equador e os polos meteorologicos coincidem com o equador e os polos geometricos. As varias direcções das correntes maritimas e atmosphericas, as particularidades do relevo orographico, as differentes fórmas e orientação das costas relativamente aos mares proximos, a diversa natureza do solo e da vegetação, e sobre tudo as relações de extensão e de configuração das massas *diaphanas* e *opacas* ¹, são outras tantas indicações para a previsão d'este phenomeno. A bella invenção do illustre Humboldt, dando uma fórma elegante aos resultados da observação, patenteia-o d'uma maneira evidente nas sinuosidades das linhas isothermas, isochimenes e isoterias.

¹ Humboldt — *Cosmos*, trad. de H. Faye et de Ch. Galuski. — Paris, 1864, 1.º vol., pag. 382.

III

Limites das neves, avalanches e geleiras

Se assim é pelo que diz respeito só aos logares onde as neves permanecem, bem se vê como deve ser incerta e ainda facilmente influenciada pelas circumstancias climatericas a altura do *limite inferior das neves persistentes*; assim se chama a *linha das neves que resistem ao verão*; por outras palavras, *limite das neves persistentes é a maior altura a que este limite pôde subir no curso d'um anno inteiro* ¹. — Mas ouçâmos a este respeito o sabio auctor do Cosmos.

«O limite inferior das neves não é unicamente uma funcção da latitude geographica e da temperatura media annual do logar; não é no equador

¹ Humboldt — *Cosmos*, 1.º vol., pag. 395.

nem até na zona tropical, como se julgou durante muito tempo, que este limite chega á sua maior altura acima do nivel do mar. O phenomeno de que se trata é, em geral, um effeito muito complexo da temperatura, do estado hygrometrico e da fórma das montanhas; e, submittendo-o a uma analyse ainda mais minuciosa, o que hoje permitem as observações recentes, reconhece-se que depende do concurso d'um grande numero de causas, taes como as differenças de temperatura propria de cada estação; a direcção dos ventos reinantes e o seu contacto, ou com o mar ou com a terra; o gráu de secura ou de humidade das camadas superiores da atmosphera; a espessura absoluta da massa de neve que cahiu ou que se accumulou; a relação entre a altura do limite inferior das nevcs e a altura total da montanha; a posição relativa d'esta ultima na cadeia de que faz parte; o escarpamento das vertentes; a proximidade de outros cimos igualmente cobertos de neve perpetua; a extensão e a altura absoluta das planicies ou da cadeia de montanhas,

donde sahe o cimo nevoso como um pico isolado. É preciso, enfim, entrar em linha de conta com a situação d'estas regiões á borda do mar ou no interior dos continentes; é preciso examinar se são formadas de florestas ou de campinas, de pantanos ou de areias áridas e de grandes pedaços de rochedos ¹.

São todas essas causas as que fazem com que a altura do limite inferior das neves varie d'uma maneira aparentemente tão caprichosa nos differentes logares da Terra; e não só em logares differentes, mas até no mesmo. Montanhas ha, com effeito, cujas neves se tinham por perpetuas e que têm apparecido completamente descobertas; e outras onde o *limite* não desce egualmente em ambas as vertentes. Assim acontece, por exemplo, no Hymalaia; abi na vertente norte, onde o ar é frio e secco, o limite das neves é mais elevado do que na vertente sul, onde bate o vento das monções, que é mais quente, mas humido.

¹ Humboldt — *Cosmos*, 1.º vol., pag. 396.

Durocher ¹, analysando minuciosamente as causas que modificam a altura do limite das neves, divide-as em dois grupos. Num junta aquellas a que chama causas accidentaes, — a influencia da exposição, a influencia dos cumes elevados e das massas nevosas de grande extensão e a influencia produzida pela natureza do terreno; — noutra junta aquellas a que chama geraes, — acção do calor central, acção da chuva, acção dos raios solares, acção do contacto do ar, irradiação com as rochas proximas, com as camadas atmosphericas, com o espaço planetario, e acção da evaporação. — Depois, exprimindo por formulas mathematicas as do segundo grupo, achou o mesmo auctor meio de calcular uma curva, que representaria o modo por que variariam as alturas dos limites das neves, se as causas accidentaes não actuassem.

Os resultados que obtive são, como era de espe-

¹ *Annales de Chimie et de Physique*, 3.^a serie, tom. 19, pag. 5.

rar, simplesmente approximados, se os comparamos com as medidas directas. E nem tão pouco nestas ultimas podemos ter grande confiança; differem de observador para observador, e parece-nos bem que, apesar de serem muitas, nenhuma se póde ter como rigorosa.

O que se conhece bem são as causas que concorrem para marcar a posição d'esta linha limite, e o que está bem averiguado é que esta posição é, em geral, mais elevada nas baixas latitudes, e vai descendo ao passo que se caminha para os polos, observação já antiga, feita pela primeira vez pelo companheiro de Colombo, Pedro Martyr d'Anghiera.

Vê-se bem que tudo quanto acabâmos de expor se póde reduzir ao seguinte: — a altura do limite inferior das neves persistentes depende das circumstancias do clima; tomando esta palavra — *clima* — na sua accepção mais lata.

Servindo-nos pois da melhor distincção que se póde fazer entre as diversas especies de climas,

diremos que o limite inferior das neves persistentes deve ser, em latitudes proximamente eguaes, mais baixo nas regiões onde o clima fôr *insular*, mais elevado naquellas onde fôr *peninsular*, ainda mais onde reinar um clima de *litoral*, e deve subir á maior altura onde o clima fôr *continental*.

No seguinte quadro apresentamos as medidas mais geralmente acceitas, feitas nalgumas das regiões mais conhecidas. Ahi se verá a exactidão de tudo quanto acabâmos de avançar.

Localidades	Latitudes medias	Natureza dos climas	Limites das neves persistentes	Observações
Spitzbergen.....	N. 79°	Insular	300 ^m	
Ilha de Majeroö.....	71°	"	720 ^m	
Noruega interior.....	60° a 70°	Peninsular	1072 ^m	
			1266 ^m	
			1500 ^m	
			1560 ^m	
Islandia.....	65°	Insular	936 ^m	
			940 ^m	
			970 ^m	
Kamchatka.....	56°	Peninsular	1600 ^m	
Ounalachka.....	53°	Insular	1070 ^m	
Altai.....	50°	Continental	2150 ^m	
Carpathos.....	49°	"	2592 ^m	
			2600 ^m	
			2700 ^m	Na vertente N. } Segundo Schlagintweit
			2780 ^m	Na vertente S. }
			2800 ^m	
			2535 ^m	Nos <i>massifos</i> } Segundo Saussure
			2730 ^m	Nos cumes isolados }
Alpes.....	45° a 46°	Litoral	2540 ^m	
			2925 ^m	
			2920 ^m	
			2550 ^m	
			3300 ^m	
Caucaso.....	43°	Litoral	3216 ^m	

Pyrenéus	42° a 43°	Peninsular	2800 ^m) Na vertente N. Na S. não ha nevres persis- tentes
Ararat	40°	Litoral	2730 ^m	
Monte Argæus	38°	Peninsular	4320 ^m	
Etna	37°	Insular	3266 ^m	
Serra Nevada	"	Peninsular	2905 ^m	
Monte Bolor	"	Continental	3307 ^m	
Karakorum	35°	Continental	5185 ^m	
Hindou Kho	34°	"	5670 ^m	
			5920 ^m	
			3356 ^m	
			5067 ^m	
			5300 ^m	
			5077 ^m	
Himalaya	28° a 35°	Continental	4900 ^m	
			4940 ^m	
			3800 ^m	
			3356 ^m	
Mexico	17° a 20°	Continental	4500 ^m	
Abyssinia	13°	Litoral	4580 ^m	
Andes do N do equador	5°	"	4287 ^m	
			4795 ^m	
Andes do Quito	S.	"	4820 ^m	Cordilheira E. Nunca chove Cordilheira W. Nunca chove
" da Bolivia	10° a 16°	"	4850 ^m	
Chili	33°	"	5640 ^m	
Chiloé	41°	"	4480 ^m	
Estreito de Magalhães .	54°	Insular	1900 ^m	
		"	1130 ^m	

*

Não ha só — limite inferior — das neves persistentes, ha tambem theoricamente um limite superior, e dizemos — theoricamente — porque a existencia de tal limite não se realisa em ponto algum do globo.

Nas camadas mais altas da atmosphaera, seja embora a temperatura muito baixa, nunca ha quantidade de agua sufficiente para a producção da neve, de fórma que, se houvesse montanhas que se elevassem até alturas d'estas, as partes mais altas ficariam perfeitamente livres, e a neve estender-se-ia numa zona limitada superior e inferiormente. Nunca tal acontece; montanha alguma se eleva a 15 000 ou a 20 000 metros. O que já se vê por isto é que não devemos suppôr que a quantidade de neve augmenta a partir do limite inferior. De resto é factó averiguado que no Hymalaia e até nos proprios Alpes não são as partes mais elevadas aquellas onde as quédas de neve são mais abundantes.

Ora, sendo certo que alem do limite das neves perpetuas nunca é possivel fundir-se completamente

toda a agua solida que se deposita, e sendo evidente por outro lado que nem por isso ella ahi se amontôa de maneira a fazer crescer indefinidamente a altura das montanhas, é forçoso que, por algum modo, desça para as regiões inferiores essa neve, para sitios onde possa fundir-se. É effectivamente o que se dá, e de duas maneiras se pôde operar essa descida, segundo as circumstancias orographicas que se apresentarem.

Se nas partes superiores da montanha os flancos são muito escarpados, se as rampas são muito íngremes, acontece que grandes massas de neve, não podendo suster-se, se despenham dos sitios onde pareciam arreigadas e cahem mais ou menos rapidamente, conforme os accidentes e o declive do caminho, destruindo e arrasando o que encontram na passagem. Estas massas de neve são as *avalanches*. São um phenomeno importante; é interessante e util o seu estudo e curiosa a sua historia: deixemol-as, todavia, que não é este o modo de descida da neve que mais nos interessa.

Se, em vez de serem escarpados os flancos da parte superior da montanha, tiverem, pelo contrario, contornos suaves; se as rampas, em vez de serem muito íngremes, forem de menor declive; se houver vastos *circos*, servindo como de reservatorio á neve, e donde esta possa escorregar brandamente; se tudo fór a alturas convenientes, e se a zona de neve fór larga e espaçosa, os phenomenos que se dão são de outra ordem e muito differentes dos do caso precedente. As neves derivam para baixo do seu limite inferior, espalham-se pelos valles transformadas em gelo, e assim se estendem num comprimento de 20, 30 e 50 kilometros, e com uma espessura de muitas centenas de metros, espessura que vai diminuindo até ao sitio onde a massa de gelo termina ordinariamente por uma especie de gruta.

D'estas grutas sabem consideraveis correntes de agua liquida, que não são outra cousa senão o principio de rios a muitos respeitos importantes. É assim que nascem, por exemplo, o Rheno, o Rhodano e o Garonna na Europa, o Indus e o Ganges

na Asia. Entre estas massas de gelo podem distinguir-se umas de maiores dimensões, que assentam sobre rampas suaves de 3° a 10°, que descem até mais abaixo e que são formadas pela reunião de outras, como os rios que têm confluentes, e outras que ficam nos logares mais altos, de menores dimensões e que assentam em rampas mais inclinadas, de 15° a 20° e ainda mais.

Acabámos de fallar nas geleiras. São as geleiras, como se vê, um phenomeno dependente não só de circumstancias climatericas, mas ainda de circumstancias orographicas. Essas de maiores dimensões e que descem até mais abaixo são as geleiras de primeira ordem, e as outras são as de segunda ordem.

Alguns auctores distinguem ainda uma terceira categoria de geleiras, a que chamam temporarias. São estas as de pequena duração, e formam-nas as avalanches de gelo. Tal é o phenomeno que se produz neste segundo modo de descida das neves para baixo do seu limite inferior.

CAPITULO III

CAPITULO III

Nevados — Regelação — Constituição das geleiras.

I

Nevados

Deixámos dito no capitulo antecedente que, em geral, não chega a neve á superficie da terra com a nitidez de fórmãs e delicadeza de contórnos que são proprias dos seus crystaes; começam, durante a quéda, o calor e os movimentos aereos a imprimir-lhe modificações, que são apenas o preludio das que depois de depositada ha de ir soffrendo. D'essas modificações vamos agora tratar.

Cobrindo os cumes mais elevados nas regiões temperadas e quentes, é certo que a neve está su-

jeita a todas as influencias atmosphericas. D'estas influencias já vimos aquella a que poderemos chamar negativa, quer dizer, vimos já que a acção da atmospherica, seja qual fór o seu estado, é insufficiente para fundir e dispersar de todo a neve, e arrancar dos cimos das montanhas essas coberturas brancas que constantemente os envolvem.

Mas não é só passivamente que actuam as circumstancias atmosphericas; a sua acção sobre as neves é até muito positiva e muito efficaz: — não se limita a deixal-as persistir, transforma-as. D'ahi vem que alguns auctores escrupulosos não acceitam a expressão de *neves persistentes*, nem a de *permanentes*, e muito menos a de *eternas*; e chamam sempre *neves temporarias* ás que nunca fundem totalmente no sitio onde cahem. Effectivamente deve-se dizer assim para fallar com rigor. As neves não persistem, transformam-se; não permanecem, succedem-se; e, em todo o caso, o que nunca podem chamar-se é *eternas*.

São a temperatura, o estado hygrometrico do ar

e as correntes aereas as causas d'essa transformação de que fallamos. A temperatura elevando-se determina a fusão dos crystaes, já meio deteriorados, que estão espalhados nas camadas superficiaes da neve; certo gráu de humidade faz com que esta vá embebendo agua, e as correntes de ar humido e tépido concorrem para o mesmo effeito, já diminuindo a evaporação, já, pela sua temperatura, activando a fusão. A agua que das camadas superficiaes passa para as inferiores vai molhando os fragmentos dos crystaes, e assim obliterando-os cada vez mais, até encontrar uma temperatura sufficientemente baixa para se congelar e formar uma especie de cimento, que, reunindo uns aos outros os nucleos crystallinos, dá á neve uma apparencia granulosa.

Á neve neste novo estado chama-se *nevado*, e á que fica incompletamente transformada, com as arestas mais ou menos vivas, chama-se *neve fresca*. Inteiramente differente d'esta ultima no aspecto, o nevado é consistente e d'uma densidade relativa-

mente consideravel, emquanto um metro cubico pesa 628 kilogrammas, outro tanto de neve fresca pesa 85; não podem os ventos, por mais impetuosos, levantar-o do solo e espalhar-o no ar e pelas partes circumvizinhas, como fazem com a neve secca.

Durante a transformação a neve vai-se acamando, e o volume que occupa depois de transformada é muito inferior ao que occupava antes. Observações feitas no Grimsel em 1866 ¹ mostram que a neve, que tinha cahido desde novembro até abril e que apresentava uma espessura de 16 metros, estava no dia 30 de abril reduzida á espessura de 2^m,3, e isto sem que houvesse agua eliminada, sem ter havido *ablação*.

Os granulos de que se compõe o nevado não são exclusivamente globulares e arredondados, e é bem de ver que é isto o que deve dar-se: com effeito, os cristaes de neve que se ajuntam para os formar

¹ Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tome sixième. Deuxième partie. — Paris, 1866, pag. 341.

são irregulares e reúnem-se em grupos variáveis, d'ahi a fórma de polyedros com angulos de diversa grandeza e com faces ora concavas ora convexas.

O apparecimento da fórma globular apresenta-se até a alguns auctores como um facto de difficil explicação. Todavia é esta a fórma predominante, e Ladame dá nos termos seguintes a razão d'isso que parecia inexplicavel: «Se collocarmos num logar, onde seja invariavel a temperatura, uma dissolução convenientemente concentrada de sulfato sodico, obtemos grandes e bellos crystaes; mas, se a collocarmos num logar onde haja muitas variações de temperatura, os crystaes serão curtos, apresentarão muitas facetas, e tomarão assim uma fórma arredondada. Concluimos d'esta experiencia que as successões de fusão e solidificação determinam nos crystaes uma obliteração que os arredonda ¹.»

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire ou recherches sur les glaciers*, première partie. — Paris, 1847, pag. 144.

«Ora, diz Agassiz, são precisamente estas as circumstancias em que se acha a neve das regiões elevadas; e o que ha mais natural do que attribuir a uma influencia semelhante a fórma arredondada dos grãos de nevado ' ? » Este ultimo auctor, e com elle outros, vêem na formação do nevado uma nova crystallisação da agua.

Seja ou não uma nova crystallisação, o que é certo é que onde ha neve sufficiente e se reúnem as condições que apontámos a neve transforma-se em nevado; e isto em todas as altitudes e em todos os logares.

Esta transformação só não se dá quando a temperatura do ambiente se conserva a 0° ou ainda inferior; quando o ar está secco e o vento frio, ou quente e secco, espalha a neve, que então é fari-nhenta e solta, a ponto de muitas vezes deixar o solo a descoberto. De todas as estações do anno a

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire ou recherches sur les glaciers*, première partie, pag. 144.

mais propria para a formação do nevado é pois a primavera, e de todas as horas do dia são as mais quentes aquellas em que este effeito se produz em maior escala.

Não quer isto dizer que até no inverno se não transforme alguma neve, quando dias de Sol brilhante succedem a outros frios e humidos, em que nevou abundantemente; observações feitas nos Alpes assim o têm demonstrado. Da energia com que actuam aquellas causas atmosphericas dependem a rapidez com que as neves soltas desaparecem para darem logar ás neves granulosas ou nevado, e as maiores ou menores dimensões d'este ultimo.

Porque a formação dos nevados se dá em todos os logares e sempre do mesmo modo, não querem alguns auctores acceitar a distincção feita por Charpentier entre *alto* e *baixo nevado*. Na verdade a differença entre um e outro é apenas uma differença de mais e de menos: — nos altos nevados a transformação da neve póde fazer-se mais lentamente e em maior escala; e nos baixos, porque estão si-

tuados em regiões mais quentes, nunca a espessura chega a ser sufficiente para que a metamorphose seja completa. De dimensões muito mais consideraveis, os primeiros são os que dão sempre logar ás geleiras, e os segundos só excepcionalmente o fazem quando adquirem proporções convenientes, depois d'uma serie de invernos nevosos e alimentados pela neve, que certos ventos persistentes para lá enviam. Foi o que Charpentier observou quando em 1816, 1817 e 1835 viu formar-se uma geleira do nevado de Grandes Combes ¹.

Admitta-se ou não a distincção, o que, como se vê, é de pouca importancia, é claro que dirigiremos a nossa attenção para os nevados bem desenvolvidos, para os que produzem as geleiras.

É nos profundos *circos* que existem nos logares mais elevados que se formam estes nevados; e quanto

¹ De Charpentier — *Essais sur les Glaciers* — Lausanne, 1841, pag. 7, nota; William Hüber — *Les Glaciers* — Paris, 1867, pag. 46.

maiores forem as dimensões d'estes grandes amphitheatros e mais suave a inclinação da sua rampa, maiores serão a quantidade de neve transformada e a possança das camadas de gelo que cobrem estas vastas regiões. Agassiz declara que não conhece nevado, cuja inclinação seja superior a 15° , e não julga que os haja com uma inclinação de mais de 8° nas geleiras de primeira ordem ¹.

Os nevados attingem muitas vezes dimensões consideraveis, quando á conveniente disposição orographica se juntam as causas atmosphericas de maneira que produzam o maximo effeito.

Ha nevados, cuja superficie é pouco inferior á das geleiras propriamente ditas. O do Aar tem 8 kilometros quadrados, e a geleira proximamente 10; o d'Aletsch, donde parte a maior geleira dos Alpes, quanto ao comprimento, tem dimensões ainda mais consideraveis. É acima d'estas superficies que se levantam picos afilados e asperos des-

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire*, première partie, pag. 44.

filadeiros, raramente descobertos e quasi sempre involtos em neve farinhenta ou finamente granulosa, que lhes dá a alvura com que se destacam e um brilho como de agulhas polidas.

A intensidade da acção das causas atmosphericas, que contribuem para a formação dos nevados, depende muito da orientação do logar onde o seu effeito se faz sentir, e é por isso que alguns auctores querem estabelecer como regra geral que, no nosso hemispherio, os nevados voltados ao sul são mais vastos do que os voltados ao norte. Com effeito, o vento norte, frio e secco, impelle para as vertentes do lado do sul a neve que encontra; esta fica ali sujeita aos ventos do sul, humidos e quentes, e aos raios do Sol, que, actuando directamente d'este lado, activam a fusão e produzem em grande quantidade a neve granulosa.

Ha todavia um sem numero de circumstancias accidentaes, que concorrem para falsear aquelle principio: taes são a inclinação das vertentes, a proximidade de outras eminencias, etc. No Monte

Branco, por exemplo, as geleiras expostas ao norte têm nevados de maior vastidão; descem 400 metros mais abaixo do que as expostas ao sul.

A fôrma e a apparencia dos nevados resentem-se, como é natural, do seu modo de formação. A neve fresca e superficial, que o vento impelle contra as paredes dos *circos*, cahe ao pé d'essas paredes, e amontoando-se fôrma taludes de maior ou menor inclinação; d'ahi vem que a secção transversal d'um nevado apresenta uma fôrma concava, ao passo que a secção transversal d'uma geleira é em geral convexa.

Como a quéda da neve não é um phenomeno contínuo, mas se interrompe mais ou menos durante uma quadra do anno, e ás vezes durante dias, acontece que é por camadas que a neve se deposita e se transforma, quando a quéda tem logar através d'uma atmosphaera tranquilla e o deposito se faz uniformemente á superficie do solo. As camadas ficam separadas por uma linha amarellada, vestigio de detritos organicos e de poeira que trou-

xeram os ventos de verão, e por baixo d'esta linha apparece frequentemente uma camada muito fina de gelo, resultado da ultima fusão superficial antes das primeiras neves do outomno. É assim que um nevado se póde apresentar mais ou menos stratificado; e, se fosse possível contar as camadas, ahí teríamos um meio de resolver um problema interessantissimo, qual é o da idade d'estas agglomerações de neve ¹.

Infelizmente rarissimas vezes é possível seguir até grande profundidade a stratificação; nem, quando o é, se encontra sempre igualmente nitida a distincção das camadas, e até estas podem faltar de todo. Para que a stratificação se faça é, como vimos, necessario um concurso de circumstancias particulares, que póde não dar-se e não se dá num grande numero de casos.

¹ William Hüber — *Les Glaciers*, pag. 60.

II

Regelação

A agua que provém directamente da atmosphera, e a que provém da fusão das camadas superficiaes da neve, penetra nas camadas inferiores e vai-se insinuando por entre os crystaes obliterados e por entre os grãos do nevado. Aqui temos pois agua solida e agua liquida misturadas e ao mesmo tempo sujeitas a uma pressão, que é tanto maior quanto mais funda fór a camada que considerarmos.

Para vermos o que deve acontecer nestas circumstancias, façamos o que é necessario fazer muitas vezes em casos d'estes: deixemos a observação, e consultemos a experiencia; deixemos o que se passa em a natureza, e attendamos ao que se passa no laboratorio.

Dois pedaços de gelo fundente, fluctuando em

agua a 0° ou a temperatura superior, prendem-se um ao outro quando chegam ao contacto; tal é o facto observado ha 24 annos por Faraday, e a que mais tarde se chamou *regelação*. Em geral dois fragmentos de gelo fundente que se põem em contacto soldam-se, e tanto mais depressa quanto maior é a pressão que um exerce sobre o outro. A explicação d'este phenomeno foi dada pelo notavel physico inglez que primeiro attentou nelle, e consiste resumidamente no seguinte:

É certo que as moleculas dos corpos estão presas umas ás outras pelo mesmo laço que uns aos outros prende os planetas e os faz gravitar nas suas respectivas orbitas. Ora uma molecula collocada no interior d'um corpo está por todos os lados sujeita á acção das que a rodêam; e uma collocada na superficie está presa só por um lado e completamente livre pelo outro. Por isto é pois de esperar que, logo que houver uma mudança de estado, logo que as moleculas tenham de se mover para se disporem em novo equilibrio, com mais facilidade se

deslocarão as que estiverem á superficie do que as presas no interior do corpo; por outras palavras, é necessario maior quantidade de calor para determinar a mudança de estado na parte interna do que na parte superficial. No caso do gelo, por exemplo, o ponto de fusão ha de ser mais elevado no centro do que na superficie. E não faltam factos onde esta conclusão se torna palpavel: muitos corpos exercem sobre as suas proprias moleculas *um poder especial de solidificação* ¹; é assim que as moleculas da camphora, do phosphoro e dos metaes em fusão se depositam umas sobre as outras, a temperaturas superiores á da sua solidificação, sobre as paredes do recipiente em que estão contidas; uma porção de agua liquida póde esfriar até alguns gráus abaixo de 0 sem se solidificar; é, todavia, rapida a congelação, e faz-se a 0 se no liquido ha um fragmento de agua solida.

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau* — Paris, 1873, pag. 168.

Quando pois dois pedaços de gelo em via de fusão pelas suas superficies chegam ao contacto, acontece que as moleculas mais livres, porque são superficies, passam para o centro e prendem-se melhor, quer dizer, a pellicula de agua liquida congela-se e os dois pedaços soldam-se.

Tal é a theoria proposta por Faraday para explicar o facto da regelação; não assenta, como se vê, sobre hypothese alguma particular, não vai de encontro a principio estabelecido, e não deixa no escuro circumstancia alguma do phenomeno. Não é, todavia, a unica que se tenha proposto; não é até, segundo alguns, a verdadeira.

Experiencias, cuja descripção não vem agora para aqui ¹, feitas por W. Thomson e interpretadas

¹ Não vem agora para aqui a descripção d'essas experiencias, porque não é proposito nosso, nem devia sel-o, tratar o facto da regelação debaixo d'um ponto de vista puramente physico. Se tal fosse o nosso intento, muito mais teriamos que dizer ácerca d'elle. Para o nosso caso basta-nos o conhecimento do

á luz da theoria mechanica do calor por J. Thomson, provaram que a pressão abaixa o ponto de fusão das substancias que se dilatam quando passam ao estado solido. Clausius, por considerações theoricis, chegou ao mesmo resultado, e determinou o quanto de abaixamento se dava no gelo para uma certa pressão; o numero que obteve é sensivelmente egual ao que por outro lado a experiencia tinha dado: por cada atmosphaera o ponto de fusão abaixa, segundo os calculos de Clausius, $0,^{\circ}00\ 758$, e segundo as experiencias de Thomson $0,^{\circ}00\ 747$.

Pelo simples raciocinio póde chegar-se á mesma conclusão. Com effeito, o que a pressão faz quando actua sobre um corpo é aproximar as moleculas umas das outras; ora a fusão nos corpos que di-

phenomeno. Mas, como este tem uma importancia capital na theoria das geleiras, mal pareceria que nos limitassemos a apresental-o sem tomar nota, ainda que resumidamente, do que a physica nos diz para o explicar; tanto mais sendo, como se vai vendo, esta explicação um ponto controverso.

minuem de volume quando fundem não é senão uma aproximação de moléculas, e por isso a pressão ajuda, facilita a fusão dos que estão neste caso; mas esta mudança de estado gasta calor, e d'ahi procede como consequencia o resfriamento.

Partindo d'estes principios, explica-se assim o phenomeno da regelação: — quando dois bocados de gelo se unem, a pressão faz-os fundir pelos pontos ou superficies de contacto, a agua liquida que escapa á pressão *regela* e fórma o cimento que prende uns aos outros os fragmentos solidos.

Esta segunda explicação tem por base factos positivos, perfeitamente averiguados, e sobre os quaes não é licita a minima duvida; as consequencias que d'elles se deduzem são legitimas, e não podem deixar de dar-se.

Qual é pois a verdadeira theoria da regelação? A proposta por Faraday, ou a que naturalmente se deduz dos principios da theoria mechanica do calor? Uma e outra têm por si auctoridades de grande peso, e até dois dos melhores physicos da actualidade

estão a este respeito em campos oppostos ¹. Helmholtz rejeita a explicação de Faraday, e acceita sem restricções a que apontámos em segundo lugar; Tyndall, pelo contrario, inclina-se abertamente para a primeira. Da discussão travada entre estes dois physicos eminentes o que nos parece poder apurar-se com certeza é que não póde seriamente objectar-se contra um ou outro d'estes dois modos de ver. As acções moleculares de que se soccorre Faraday existem, e o seu effeito ha de por força manifestar-se; a influencia da pressão sobre o ponto de fusão é um facto indiscutivel, que a experiencia confirma e a theoria prevê.

Parece-nos dever concluir-se de tudo isto que o phenomeno da regelação é muito complicado; concorrem para o produzir as acções moleculares e a pressão. Ha casos em que o effeito das primeiras predomina e o da segunda se póde ter como nullo;

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau* — *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 445 et suiv.

outras vezes, pelo contrario, é a acção da segunda a que se faz sentir, e a das primeiras a que póde considerar-se como não existindo.

Quando dois pedaços de gelo fluctuam na agua liquida e são impellidos um contra o outro pela força da capillaridade, quando dois discos tambem de gelo, atravessados por uma haste de vidro e subtrahidos assim á acção da gravidade, estão collocados um por cima do outro, a pressão é insignificante, e todavia a regelação dá-se. Que ha mais natural do que, neste caso, attribuir a regelação principalmente ás acções moleculares? E depois, quando os dois fragmentos de gelo se soldam em agua quente, custa muito a conceber como a agua, que a pressão liquidifaz, póde regelar instantaneamente ¹.

Quando, por outro lado, a pressão attinge certa grandeza, não póde deixar de ser efficaz e a que

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 251.

principalmente contribue para que se faça a soldadura do gelo. Este é, parece-nos, o melhor modo de explicar o facto; vejamos agora as consequências d'elle, que mais nos interessam.

Sempre que estiverem juntos fragmentos de agua solida em via de fusão, *crystaes* de neve, por exemplo, acontecerá que, em quanto se não fundirem de todo, se poderão ir unindo de fórma que dêem ao conjuncto uma apparencia granulosa. De cada vez que sobre esta mistura de agua e gelo actuar a pressão, o ar irá sendo expellido; os granulos, soldando-se uns aos outros, ir-se-ão tornando maiores, e o resultado será a transformação do todo num pedaço de gelo mais ou menos transparente, conforme o numero de vezes que a pressão actuou, e com a fórma do recipiente em que foi apertado.

O que é absolutamente indispensavel para que isto se consiga é que os fragmentos de agua solida estejam humidos; não é necessario que sejam muito pequenos nem que provenham da união dos *crystaes* da neve. Obtemos o mesmo resultado quando aper-

tamos fortemente o gelo que provém directamente da solidificação natural e livre da agua liquida.

Dão-se todavia particularidades que convém notar, conforme empregamos uma ou outra d'aquellas especies de gelo, segundo empregamos o formado directamente pela solidificação da agua, ou o que já se formou pela regelação. Servindo-nos do primeiro, sentimol-o estalar e vemol-o quebrar-se sob a influencia da pressão para se adaptar á nova fôrma que esta lhe impõe; e o gelo que obtemos é transparente. Servindo-nos do segundo vemos que este não se quebra para ceder á pressão, mas que os granulos em que elle está dividido se vão mais ou menos deslocando, e assim vai o todo tomando a nova fôrma lentamente. É tambem transparente a massa unica que obtemos e vai-o sendo tanto mais quantas mais vezes a quebramos e a submettemos á pressão dentro da fôrma; e os granulos em que primitivamente esta massa estava dividida conservam-se distinctos em grande numero de casos.

Podemos tambem apertar numa fôrma crystaes

de neve humedecidos, e o que resulta é ainda um pedaço de gelo de plasticidade notavel, mas sem transparencia, mais ou menos poroso e esbranquiçado, o que é devido ao muito ar que ficou retido na massa. Quando apertamos juntamente fragmentos de gelo e neve, é possível depois distinguir as partes que eram neve, das que eram gelo, pela opacidade relativa das primeiras e pela transparencia das segundas.

Entre as muitas experiencias onde se tornam evidentes a plasticidade do gelo obtido pela pressão e ao mesmo tempo a incapacidade de resistir á tensão, citaremos a seguinte, devida a Helmholtz, cuja importancia teremos occasião de ver. Substituiu este physico uma das bases d'um cylindro de ferro por uma placa com uma abertura conica d'um diametro igual a dois quintos do diametro do cylindro. Introduziu dentro d'esta fórma gelo obtido por pressão e apertou-o com um embolo pelo lado opposto ao da placa. O gelo sahia pela abertura com a fórma d'um cylindro de diametro igual ao d'esta; mas

como o gelo da parte central sahia mais depressa do que o das partes lateraes, a base d'este cylindro foi-se tornando convexa, e o gelo das partes periphericas, não podendo resistir á tensãõ, quebrou-se e fendeu-se no sentido do eixo ¹.

O porquê d'esta plasticidade torna-se evidente quando attentamos bem no que se passa no interior da massa que está sob a influencia da pressãõ. Vemos veios capillares esbranquiçados, que se vão deslocando no interior do gelo ao passo que o todo se vai deformando. Estes veios são os espaços entre os granulos de gelo, que vão mudando de posição ao passo que estes tambem mudam de logar; e é por elles tambem que passa a agua que se liquidifaz onde a pressãõ é maior para se ir congelar onde é menor. A plasticidade do gelo tem pois a sua causa immediata na existencia dos espaços entre os fragmentos em que está dividida e nas alter-

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 226; *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 443.

nativas de fusão e solidificação que se passam no interior da sua massa.

Sobre longo seria inutil estar agora apontando o sem numero de experiencias ingenhosas que demonstram plenamente como o gelo cede á pressão, conservando ao mesmo tempo a propriedade de não ceder á tensão; podendo moldar-se como a cera, e estalar e quebrar-se como um corpo vitreo. Tyndall, Helmholtz, Tresca, Mousson e outros têm illustrado esta parte da physica, conseguindo admiravelmente transformar pedaços informes d'esta substancia quebradiça em solidos regulares e geometricos, em cadeias com os seus anneis, em vasos dos mais variados feitios, em pequenas estatuas, etc.

E agora que vimos o que em ponto pequeno acontece nos nossos laboratorios, estamos já preparados para ver com outros olhos o que em ponto grande produzem as forças livres da natureza.

III

Constituição das geleiras

Temos agua solida e agua liquida misturadas e ao mesmo tempo sujeitas a uma pressão, que é tanto maior quanto mais funda fór a camada que considerarmos.

Foi o que dissemos no principio do paragrapho precedente. Agora podemos dizer mais. As partes superiores d'essa mistura devem ser formadas de pequenos fragmentos de gelo em via de fusão. As immediatamente inferiores, que já supportam uma certa pressão, devem conter pedaços de gelo maiores, d'uma apparencia porosa e algum tanto opacos em virtude do ar que retêm. Finalmente, as mais inferiores, onde actua com grande intensidade a pressão das superiores, devem ser formadas de gelo compacto e transparente, atravessado mais

ou menos por veios capillares esbranquiçados. Foi isto o que a experiencia indicou, e não ha aqui razão para que as forças naturaes livres produzam effeito diverso d'aquelle que produziram quando dirigidas pelo artificio.

Ainda mais, o gelo formado nestas circumstancias deve adaptar-se perfeitamente a todos os accidentes do terreno sobre que assenta. Dos reservatorios superiores em que está apertado deve prolongar-se para as regiões inferiores tomando o caminho sinuoso que lhe offerecem as gargantas e os desfiladeiros, contornando os obstaculos nos logares accidentados, apertando-se nos logares estreitos, expandindo-se nos mais largos e alastrando o fundo dos valles. Assim deve ir o gelo vestindo de branco as montanhas até chegar onde a sua existencia se torna incompativel com as circumstancias climatericas. A experiencia de Helmholtz, de que fallámos no paragrapho precedente, prova evidentemente que isto assim póde acontecer.

É, com effeito, isto o que se observa nas vastas

agglomerações de agua solida que constituem as geleiras. Aquelles pequenos fragmentos de gelo em via de fusão são os granulos do nevado, a que já consagramos um paragrapho especial. Aquelles pedaços de gelo maiores, opacos e d'uma apparencia porosa em virtude do ar que retêm, pertencem ao *gelo de nevado*; e o gelo compacto e transparente que se apresenta nas camadas inferiores é o *gelo de geleira*.

Na verdade esta distincção entre *gelo de nevado* e *gelo de geleira* está longe de ser feita por todos os auctores que têm escripto a este respeito. O gelo de nevado é apenas uma phase de desenvolvimento por que passa o que ha de ser gelo compacto. Acham-se differenças entre os dois, como se acham, procurando com attenção, quando vamos comparando os gelos de camadas successivas, e estas differenças, são como é natural, tanto maiores e mais evidentes quanto mais afastadas são as camadas que consideramos.

É assim que se deve entender aquella distincção, e de fórma nenhuma como querendo indicar a se-

paração de dois estados perfeitamente diversos e independentes. O proprio Agassiz, que é um dos que distingue e descreve separadamente cada uma das especies de gelo, principia assim a fallar do gelo de nevado:—«O gelo que resulta da aggregação pura e simples dos grãos pela congelação não é ainda o verdadeiro gelo de geleira, é uma *fôrma intermedia* entre o nevado e o gelo, a qual eu designo pelo nome de gelo de nevado; participa ao mesmo tempo d'uma e d'outra; por outras palavras, é nevado cimentado por agua gelada ¹.» E mais adiante, quando vai descrever o gelo compacto, o mesmo auctor exprime-se d'este modo: «Na realidade elle (gelo compacto) não é senão o desenvolvimento necessario do gelo de nevado, e encontra-se em todas as geleiras uma região onde a passagem d'uma d'estas fôrmas para a outra é insensivel ².»

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire*, première partie — Paris, 1847, pag. 146.

² *Ibidem*, pag. 150.

É occasião agora de dizer que, segundo Bertin, auctor que mais especialmente se tem dedicado a este estudo, entre os estados diversos em que a agua solida se nos apresenta, podemos considerar seis como verdadeiramente distinctos. Esses são, segundo o mesmo auctor ¹, *a neve, o nevado, o gelo glacial ou de geleira, o gelo azul, o gelo de agua e o gelo de fundo*. A simples apparencia e o modo de formação bastam para distinguir algumas d'estas especies de gelo; para distinguir outras é necessario um estudo attento e uma observação minuciosa.

Já nada se nos offerece que dizer a respeito da neve e do nevado. Acerca do *gelo de fundo*, porque é extranho ao nosso assumpto principal, só diremos que é o gelo mais ou menos esponjoso, raras vezes compacto e polido, que se fórma no fundo dos rios, apresentando assim uma anomalia que custou a ser admittida pelos homens da sciencia, como um facto averiguado e cuja explicação deu que pensar.

¹ *Revue des cours scientifiques* — 1865-1866, pag. 398.

Pelo que diz respeito ao gelo azul, fallaremos d'elle noutro logar; por agora só diremos que não vemos bem a razão por que o auctor que citámos faz d'elle uma especie á parte. O gelo azul não é senão o gelo completamente ou quasi expurgado de ar: a agua solida não é opaca e esbranquiçada senão em quanto o ar existe em grande quantidade entre as suas moleculas; á proporção que este vai sendo expellido, a transparencia e a côr azul vão apparecendo.

Não nos restam pois senão o gelo de geleira e o gelo de agua, e estas duas especies são das taes onde a simples observação nem sempre é sufficiente para accusar differenças. Dizemos — nem sempre — porque, não tendo o gelo de geleira a mesma apparencia em todas as partes onde póde ser observado, logares ha onde pelo simples aspecto se distingue do gelo de agua, d'esse que naturalmente se fórma quando a agua liquida toma livremente o estado solido.

O gelo de agua apresenta uma superficie lisa

e escorregadia; é transparente, compacto e impermeavel; funde ordinariamente sem se dividir, e quando se divide é em agulhas prismaticas, cujas faces são normaes ao plano de congelação, á superficie da agua que esfria. Vê-se já como á primeira vista este gelo se distingue do gelo de nevado e do que existe na parte superior das geleiras.

Não acontece o mesmo se o comparamos com o que existe na parte inferior. Este é certo que não é impermeavel e que é mais ou menos divisivel em granulos; mas apresenta-se de tal maneira compacto e transparente, que a observação superficial não basta para ver as differenças que o separam do gelo de agua. É a analyse optica a que fornece meio efficaz para fazer esta distincção.

É sabido que todos os crystaes uniaxeas, talhados perpendicularmente ao eixo dão, quando lhes passa através a luz polarizada, uma serie de anneis colorados atravessados por uma cruz completamente negra; e os talhados parallelamente ao eixo dão hyperboles conjugadas equilateras. Ora uma lamina

de gelo de agua cortada parallelamente ao plano de congelação dá os mesmos anneis corados, e quando cortada perpendicularmente a esse plano dá as mesmas hyperboles. Resulta d'aqui que o gelo de agua tem uma estructura perfectamente crystallina, é um crystal uniaxial de eixo perpendicular ao plano de congelação. A passagem d'um fasciculo de luz electrica ou solar através de um fragmento d'este gelo mostra que elle é composto de moleculas crystallinas de *flores d'agua* ¹. A luz polarisada mostra que estas moleculas estão orientadas e dispostas como num verdadeiro crystal.

Não acontece outro tanto com o gelo glacial ou de geleira: este nunca apresenta uma estructura crystallina tão clara e tão bem definida como a do gelo de agua; vai tendendo para ella, mas nunca perde completamente os signaes da sua origem e do seu modo de formação. «A materia prima con-

¹ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 38.

stituente das geleiras, o granulo de neve, acha-se sempre no gelo que chegou ao seu estado mais perfeito de transparencia e homogeneidade ¹.»

Helmholtz diz assim: «Achamos entre estas duas especies de gelo a mesma differença que entre o spatho calcareo e o marmore, ambos formados por carbonato de cal. O estado do primeiro é o de grandes crystaes regulares; o marmore, pelo contrario, é um conjuncto de grãos crystallinos. No spatho calcareo, como no gelo crystallino, as fendas que se podem fazer com uma faca propagam-se longe na massa, em quanto que a fenda que se produz num dos grãos do gelo granuloso não se estende necessariamente para alem do proprio grão ².»

Ahi estão as differenças que separam o gelo de agua do gelo de geleira. Foi a analyse optica a que nos mostrou essas differenças. Mas não se limita a

¹ William Hüber — *Les Glaciers* — Paris, 1867, pag. 63.

² Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 229; *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 444.

isto este poderoso meio de observação; faz mais, mostra-nos que este gelo de geleira é todo um e vai passando por diferentes phases de desenvolvimento. Assim fica justificado o que mais acima avançámos quando fallavamos do gelo de nevado.

Com effeito, Anatole Dupré e Ch. Grad ¹ analysaram minuciosamente diferentes pedaços de gelo arrancados da mesma geleira a alturas diversas, e verificaram a expulsão successiva de bolhas de ar, o augmento de densidade e transparencia, e que pouco a pouco as moleculas se orientavam de maneira a approximarem-se da estructura crystallina do gelo de agua. Estes estudos foram feitos principalmente na geleira do Aletsch.

Quanto á variação de densidade, é facto que se torna evidente na seguinte tabella, extrahida d'uma das obras de Agassiz ², onde se vêem os resultados de medidas escrupulosamente feitas:

¹ *Revue scientifique*, 1872, 1.º semestre, pag. 113.

² L. Agassiz—*Système glaciaire*, première partie, pag. 158.

- Gelo de nevado, formado de neve fresca cahida no mez de julho e transformada em nevado e depois em gelo — pesou por metro cubico 628, kgr.
- Gelo branco com muitas bolhas redondas, cortado numa galeria natural, defronte do Pavillon — idem 871, 23
- Gelo da mesma proveniencia com algumas laminas de gelo azul — idem 875, 20
- Gelo da mesma localidade com algumas faxas azues um pouco mais largas — idem 879, 20
- Gelo branco com muitas bolhas achatadas, tirado d'um *poço* proximo do Hotel des Neuchâtelois, sem laminas azues — idem 897, 92
- Gelo azul sem bolhas nem *falhas*, cortado a 4^m de profundidade d'uma *fava* d'uma galeria natural, termo medio depois d'um grande numero de experiencias — idem 909, 30
- A densidade do gelo ordinario d'agua é, segundo o mesmo observador, * 908.

* O observador a quem se refere Agassiz é Dollfus-Ausset.

A pezar do que deixamos dicto é possível encontrar em todas as regiões das geleiras gelo que naturalmente é mais proprio de outras. O gelo de nevado, por exemplo, está algumas vezes representado nas camadas inferiores; resulta da neve que póde encher algumas fendas e ahi transformar-se ¹.

É algumas vezes tão completa a transformação, que não é gelo de nevado o que fica, mas um gelo muito mais compacto, que se dispõe em listas brancas e salientes á superficie das geleiras: são as *suturas de gelo branco*, as *white ice-seams* descriptas e estudadas por Tyndall ².

Não é raro encontrar-se gelo de agua em qualquer logar da geleira, e até nos nevados póde apparecer gelo compacto.

Não é verdade que o gelo de geleira seja muito puro, a pezar da sua transparencia e da opinião de

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire*, première partie, pag. 149.

² Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tom. 1, deuxième partie, pag. 57.

alguns auctores que assim o affirmam. Este gelo não contém, segundo Agassiz, menos de $2 \frac{1}{2}$ gr. de substancias estranhas em cada litro ¹.

Não fecharemos este capitulo sem fallar d'uma particularidade notavel do gelo de geleira: referimo-nos á sua affinidade para o oxygeneo. É tão notavel esta propriedade, que alguém pretende que difficilmente se oxyda um pedaço de ferro envolvido por gelo de geleira, com quanto a sua oxydação seja facil, completa e se dê depressa quando envolvido por gelo de agua. A asphyxia é rapida no interior das *fendas* em consequencia da absorpção do oxygeneo pelas paredes d'estas.

Este poder de absorpção para o oxygeneo, esta affinidade provém da falta d'este elemento nesta especie de gelo, falta que se torna sensivel quando examinamos a agua liquida que resulta da fusão do gelo de geleira. Esta agua é mal saborosa, não

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire*, première partie, pag. 151, nota.

mitiga a sêde e o seu uso compromette a saude; o que tudo provém da falta do oxygeneo e do acido carbonico.

O que deixamos escripto não é tudo quanto tinhamos que dizer ácerca da constituição das geleiras. Mas rematamos já este capitulo, porque do que falta melhor se poderá tratar mais adeante.

CAPITULO IV

que não podem ser feitas sem a intervenção
do Estado, e que a intervenção do Estado
é necessária para a realização dos seus fins.

O que se entende por intervenção do Estado
é a intervenção do Estado na economia
para a realização dos seus fins. A intervenção
do Estado na economia pode ser feita de
diversas maneiras, e a intervenção do Estado
na economia pode ser feita de diversas
maneiras. A intervenção do Estado na
economia pode ser feita de diversas
maneiras, e a intervenção do Estado na
economia pode ser feita de diversas
maneiras.

Esta intervenção do Estado na economia
é necessária para a realização dos seus fins.
A intervenção do Estado na economia
é necessária para a realização dos seus fins.
A intervenção do Estado na economia
é necessária para a realização dos seus fins.

1. A intervenção do Estado na economia
é necessária para a realização dos seus fins.

CAPITULO IV

CAPITULO IV

Alimentação das geleiras — Ablação — Movimento das geleiras — Oscillações das geleiras nos tempos historicos.

I

Alimentação das geleiras

Poderíamos dizer que o assumpto d'este capitulo é a physiologia das geleiras, assim como a materia do antecedente se póde considerar como um ligeiro esboço da sua anatomia. Não seria nova a comparação entre uma geleira e um organismo vivo; já muitos a têm feito, e até houve noutros tempos quem muito seriamente visse manifestações vitaes nos phenomenos de que vamos agora occupar-nos.

São tres os factores, cujo producto é na geleira essa apparencia de vida: — a *alimentação*, a *abla-*

ção e o *movimento*. Do estudo da acção de todos estes tres factores resulta o conhecimento d'aquelles phenomenos apparentemente vitaes.

Diremos já, todavia, que tal estudo não está ainda completo, e que alguns pontos encontraremos que estão longe de ser perfeitamente claros; o que tudo faz com que este capitulo seja um dos mais difficeis da theoria das geleiras.

Feita esta advertencia, vamos estudar separadamente a acção de cada um d'estes agentes, para ficarmos com o conhecimento, até onde elle é possivel por em quanto, a respeito das condições que regulam a vida das geleiras.

Parece que nos capitulos antecedentes expuzemos o bastante para d'ahi se poder deduzir o modo de formação das geleiras. As neves cahidas nas regiões elevadas, nos sitios onde não ha calor sufficiente para fundir todas quantas cahem, agglomeram-se em grandes reservatorios, se as circumstancias orographicas o permittem, e ahi, lubrificadas pela agua de fusão, que filtra das camadas superiores e actua-

das pela pressão, mudam de aspecto e principiam a ganhar a apparencia do gelo.

Depois, em virtude da regelação, e ainda se as circumstancias orographicas o permittem, o gelo assim formado «deve adaptar-se perfeitamente a todos os accidentes do terreno sobre que assenta; dos reservatorios superiores, em que está apertado, deve prolongar-se para as regiões inferiores, tomando o caminho sinuoso que lhe offerecem as gargantas e os desfiladeiros, contornando os obstaculos nos logares accidentados, apertando-se nos logares estreitos, expandindo-se nos mais largos e alastrando o fundo dos valles» (pag. 101).

Não é pois duvidoso que as geleiras sejam formadas da neve, e que esta se transforme para dar logar ao gelo. É natural affirmar que é a neve a que alimenta as geleiras; tanto mais quanto o que recapitulámos agora e que mais por extenso expuzemos nas paginas anteriores não são simples conjecturas ou hypotheses, mas factos que indubitavelmente se dão, que por força se haviam de dar.

Uma cousa é, no entretanto, a formação d'uma geleira e outra a sua alimentação. Tendo bem presente esta distincção, não deve haver difficuldade em acceitar o que a respeito do phenomeno que vamos estudando affirmam alguns auctores, aliás merecedores de inteiro credito, já pela seriedade que os distingue, já porque as suas affirmativas são baseadas em observações numerosissimas e escrupulosamente feitas. Affirmam estes que a principal alimentação das geleiras não consiste em neve, mas em agua liquida. Esta agua é *assimilada* no interior das geleiras, que d'este modo se alimentam por *intussuscepção*, segundo o modo de dizer de Elie de Beaumont.

Mas melhor é ver o que a este respeito diz Hogard. No que vamos transcrever está perfectamente resumida a opinião que tratamos de expôr. Aca-bando este auctor de dizer — que não são raras as geleiras que, completamente privadas de nevado e muito reduzidas pela ablação do verão, se encontram no anno seguinte não só com as perdas repa-

radas, mas até em via de progresso em proporção com as quantidades de neve de que o inverno as cobriu,—continúa assim :

«E se esta neve bastou para as alimentar, para favorecer o seu crescimento, e se, ao mesmo tempo, longe de formar novas camadas de gelo, está demonstrado que, não sómente este desapareceu na totalidade, mas que uma parte da propria geleira soffreu os effeitos da ablação, será necessario admittir que a alimentação não se opéra unicamente como primeiro se tinha pensado ; e que se, em certos casos, ha *accidentalmente* addição de camadas ou de largas escamas de gelo á superficie das geleiras, a sua formação, o seu progresso, a sua conservação e a sua marcha têm por causa evidente a neve ; mas que esta causa independentemente dos effeitos puramente accessorios e secundarios, de que principalmente todos se têm preoccupado até agora, desempenha em papel bem diversamente importante no regimen das geleiras, *fornecendo-lhes o principal elemento da sua alimentação: a agua no estado liquido.*

«De Saussure primeiro, e a maior parte dos auctores depois d'elle, têm todos concordado em dizer que as geleiras se formam pela congelação repetida da neve penetrada pela agua; as experiencias feitas no Faulhorn por M. Ch. Martins, em 1841, não deixam duvida alguma a este respeito; fazem comprehender o modo d'esta transformação, e ao mesmo tempo demonstram que as geleiras augmentam pela congelação da agua que penetra na sua massa.

«As geleiras, diz M. Ch. Martins terminando, crescem por *intussuscepção*, segundo a expressão empregada por M. Elie de Beaumont, e não por uma simples addição de camadas de neves novas, que se transformem em gelo quando penetradas pelas aguas resultantes da fusão das neves circumvisinhas. Se as geleiras não reparassem assim cada anno as perdas que lhes fazem experimentar a fusão e a evaporação superficiaes, não tardariam a desaparecer completamente até ao limite do nevado. E ajunctarei que acabariam por desaparecer *inteiramente*, até da região considerada como *região do*

nevado, se estas perdas experimentadas não se reparassem senão pela addição de novas camadas de neve transformadas em gelo; e se nos circos elevados, *faltando a agua de alimentação*, o volume do gelo não augmentasse debaixo da massa de neve ou de nevado que o preserva da ablação superficial. Emfim, se as geleiras, num dado momento, podessem ser privadas da quantidade de agua necessaria para a sua sustentação e para o seu desenvolvimento, a sua marcha, gradualmente retardada, pararia de repente, quando a totalidade da agua, que primeiro as penetrava, se tivesse convertido em gelo ¹.

Com effeito, concebe-se perfeitamente que as cousas assim aconteçam na geleira depois de formada. Não ha contradicção alguma entre o que ex-

¹ H. Hogard — *Recherches sur les glaciers et sur les formations erratiques des Alpes de la Suisse*, Épinal, 1858; Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tom. 5, première partie — Paris, 1864, pag. 130.

puzemos no capitulo antecedente e o que acabamos de ver relativamente á alimentação das geleiras. Já sabiamos pela experiencia que a neve não podia começar o cyclo das suas transformações sem estar humedecida pela agua liquida, e que sem esta não podia dar-se o phenomeno da regelação, phenomeno que constantemente se está dando em todas as partes da geleira.

Aquella agua liquida não vai só humedecer o gelo, insinuando-se por entre os espaços capillares; vai tambem congelar-se nos sitios onde o permittem as circumstancias de temperatura e pressão; e é nisto que consiste aquella *assimilação*, é assim que póde dizer-se que a alimentação se faz por *intus-suscepção*.

Acontece, no entretanto, que alguns dos auctores a que acima nos referimos não ficam por aqui, vão mais além; affirmam que a agua liquida é a *unica* que alimenta as geleiras e que *nunca* as neves se transformam directamente em gelo. Dollfus-Ausset é um dos que assim dizem, e não perde occasião

de o repetir a cada passo d'uma maneira peremptoria.

Ora este exclusivismo é que nos parece não poder sustentar-se facilmente. O gelo de geleira, em geral, vem, nem póde deixar de vir, já o mostrámos, directamente da neve por transformações successivas. É com a fórma de gelo que parte da neve que não funde nas regiões superiores vem para as inferiores. Para que fosse a agua liquida o alimento *exclusivo* das geleiras, seria necessario que todas as neves fundissem, até, e principalmente, as que estão para cima do limite das persistentes. É certo que ha geleiras donde desaparecem os nevados durante algum tempo, e que, sem embargo, continuam a existir; mas é este um caso puramente excepcional, e que, ainda assim, nada prova a favor d'aquella idéa. Se as geleiras existem, é porque se formaram de neve: nem o gelo podia ter vindo da atmospherá já formado, nem consta que alguém tenha visto fundirem-se totalmente as neves e da agua de fusão formar-se o gelo de geleira.

Diremos pois em conclusão que as geleiras se alimentam da neve; já d'uma maneira indirecta, e é este o seu modo principal de alimentação, assimilando a agua liquida que resulta da fusão; já d'uma maneira directa, e é assim que se formam, quando a neve que não funde se transforma em gelo.

Vê-se já que as condições, que é preciso reunir para haver uma alimentação abundante, são: muito vapor d'agua no ar para haver grandes quantidades de neve, o que suppõe uma quantidade de calor consideravel para provocar as grandes evaporações, e uma temperatura sufficiente para ir fundindo parte da que se vai precipitando. As temperaturas muito baixas são as que não convém de fórma alguma: nem são abundantes em neve os invernos muito frios, nem a estas temperaturas é possivel uma fusão sufficiente.

II

Ablação

As geleiras não ultrapassam certos limites em espessura e em comprimento a pezar de continuarem a actuar as circumstancias meteorologicas que determinam a sua alimentação. Tanto basta para termos já a certeza de que alguma cousa desfaz por um lado o que a alimentação faz pelo outro. Isto mesmo já indicámos quando dissemos que o gelo glacial se ia espalhando pelas montanhas até chegar aonde a sua existencia se tornava incompativel com as circumstancias climatericas (pag. 101).

Por outra parte tambem já vimos que as geleiras terminam geralmente por uma gruta, donde sahem consideraveis correntes de agua liquida ; da geleira do Aar, por exemplo, sahem 4 a 23 metros cubicos de agua por segundo.

Ora esta agua liquida provém evidentemente da fusão da propria geleira; é a agua que não serviu para a alimentação, que não foi assimilada, que não fez senão passar das camadas superficiaes, onde tomou o estado liquido, para as inferiores, por onde vai abrindo caminho até encontrar por onde saía, precipitando-se ordinariamente em corrente e outras vezes em regatos de maiores ou menores dimensões.

Uma parte d'esta agua póde ainda provir da chuva; mas quasi nem valia a pena mencional-a, porque, segundo Agassiz, é insignificante a chuva que cahe sobre as geleiras, e o seu effeito póde considerar-se como quasi nullo, se exceptuarmos as chuvas de trovoada, que, acompanhadas de temperaturas mais elevadas, podem concorrer para a fusão superficial do gelo ¹.

Esta fusão, que assim desfaz os gelos para os

¹ L. Agassiz — *Système glaciaire*, première partie, pag. 410 et suiv.

transformar em rios é o effeito d'aquellas circumstancias climatericas que impõem ás geleiras um limite, é o phenomeno ao qual Agassiz consagrou o nome de *ablação*, é, emfim, o que se oppõe á alimentação e o que fecha o cyclo das transformações por que as aguas vão passando desde que se levantam em vapores dos mares e dos lagos até que para ahi voltam em rios, depois de terem sido neve, nevado e gelo de geleira.

Se este phenomeno da ablação não fosse previsto pelo raciocinio e evidenciado nas correntes de agua liquida que sahem da geleira, não faltariam ainda outros factos, legitimas consequencias d'elle, bem proprios para lhe denunciar a existencia. É assim que se vêem, sulcando as superficies das geleiras, veios e regatos de agua que na estação quente adquirem muitas vezes as proporções de verdadeiros riachos. Nas horas do dia em que o calor é mais intenso não é raro vel-os augmentar de volume, transformando-se os veios em regatos e estes em verdadeiras correntes, que, excavando a massa do

gelo e accidentando assim a superficie da geleira, vão perder-se nas cavidades que esta apresenta. As *mezas de geleira*, de que mais adeante fallaremos, são tambem uma consequencia da ablação.

Mas o facto mais notavel que resulta da fusão das camadas superficiaes do gelo é, sem duvida nenhuma, o da expulsão dos corpos estranhos pela geleira. Este facto, conhecido de longa data pelos montanhezes, foi durante muito tempo admittido como tal pelos homens da sciencia, que não atinavam com a explicação que d'elle haviam de dar.

É que, effectivamente, este phenomeno apresenta-se com circumstancias extraordinarias. Uma pedra, um pedaço de páo, até restos humanos e qualquer corpo, emfim, que por qualquer meio tivesse sido sepultado no interior do gelo, vê-se apparecer, tempo depois, á superficie, como se tivesse subido contra o proprio peso, como se uma força estranha o impellisse. Uma estaca que se tenha fixado solidamente parecerá que vai crescendo até que, de todo desamparada pela base, cáia na superficie da geleira.

Não faltaram hypotheses para dar a razão de tudo isto, tendo todas em vista explicar o facto da *ascensão*; e até não faltou quem fizesse intervir no phenomeno as propriedades vitaes.

Foram Toussaint, de Charpentier e Kaemtz os que primeiro suspeitaram que a fusão do gelo entrava para muito na producção d'aquelle phenomeno. Hoje é um facto perfeitamente averiguado, principalmente depois das experiencias de Ch. Martins e Bravais, que a ablação é a verdadeira e unica ou, pelo menos, a principal causa de tudo aquillo: — não são os corpos estranhos que sobem, é a geleira que desce até os descobrir. O facto da expulsão é apenas apparente.

Bem averiguada a existencia da ablação, resta estudal-a em todas as suas particularidades, e a isto se têm dedicado grande numero de auctores com o esmero e attenção que merece um phenomeno de tamanha importancia na economia das geleiras. Entre outros citaremos os nomes de Agassiz, que foi o primeiro que emprehendeu seriamente este

estudo, Ch. Martins, Bravais, Dollfus, Escher e Forbes.

Os resultados das observações de todos póde dizer-se que são os mesmos, se dermos o desconto de que nem todos observaram no mesmo sitio, nem em circumstancias identicas. E os meios de observação tambem pouco differem, por quanto se reduzem em ultima analyse ao seguinte: uns fixam estacas no gelo, e, depois de terem marcado com um traço a linha de nivel, podem verificar quanto ella desceu; outros depositam no interior do gelo, e em profundidade determinada, uma pedra ou qualquer outro corpo que alli possa conservar-se, e quando esse corpo emerge têm a medida de quanto abaixou a superficie.

Forbes objecta contra estes modos de observação; diz que assim não se avalia a descida, que é devida exclusivamente á ablação, mas sim a que resulta d'outras causas que actuam juntamente. O abaixamento da massa total, devido ao peso e ao estiramento que a geleira sofre nalguns sitios, é uma

d'essas causas, e podia tambem juntar-se o movimento em plano inclinado, que faz com que uma parte qualquer da geleira desça realmente em virtude d'esse movimento, e não apparentemente em virtude só da ablação.

Estas objecções teriam algum valor se se pretendesse que as medidas da ablação fossem rigorosamente exactas. Ora ninguem tal pretende; e, ainda assim, é sempre possivel obter resultados tão approximados d'aquella exactidão quanto se quizer. Basta para isso entrar em linha de conta, em cada caso particular, com aquellas causas perturbadoras, causas que muitas vezes podem não existir. É assim que uma geleira póde assentar num plano quasi horisontal, ou não soffrer estiramento algum, ou ser tão pouco espessa e receber tão pouca agua de infiltração, que o abaixamento devido ao peso se possa considerar como nullo. De resto, tão bem conhece isto o illustre physico inglez, que nem propõe outro modo de observação, nem deixa de se servir do que criticou.

E, emfim, o que mais interessa no estudo geologico das geleiras é o conhecimento das circumstancias que influem sobre a ablação; esse é que já resulta dos trabalhos até hoje feitos, e não ha causas perturbadoras capazes de o tornar duvidoso.

As circumstancias que influem na ablação são: — as differentes epochas do anno, as differentes horas do dia, o estado da atmosphaera, a orientação das geleiras e certas particularidades proprias das diversas regiões da mesma geleira.

Basta lembrarmo-nos de que a ablação consiste numa fusão da camada superficial do gelo, para prevermos que esta se dará em tanto maior escala, quanto mais intensa fôr a acção do calor: é assim que nas epochas mais quentes do anno, nas horas mais quentes do dia e numa atmosphaera perfeitamente clara e serena deve a ablação ser mais consideravel.

É, com effeito, isso o que se deduz da inspecção dos quadros, onde os observadores já citados resu-

miram os resultados dos seus trabalhos. A ablação media das geleiras da Suissa é, pouco mais ou menos, de 3 metros por anno, ou $0^m,008$ por dia, termo medio, segundo Desor; e, segundo Agassiz, Ch. Martins e Sonklar, no mez de agosto o calor funde nas geleiras dos Alpes Centraes uma camada de gelo de 3 a 4 centimetros por dia. No outomno e no inverno a ablação é insignificante, sendo, todavia, raro o poder-se ter como absolutamente nulla.

Para vermos quanto a temperatura das diversas horas do dia combinada com o estado da atmosphaera influe sobre este phenomeno basta ver o seguinte quadro, devido a Dollfus-Ausset ¹:

¹ Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tom. 6, deuxième partie, pag. 331.

Ablação durante o dia 21 de agosto de 1844

HORAS	ABLAÇÃO		THERMOMETRO		ESTADO DA ATMOSPHERA
	em 30'	Total	Ao sol	À somb.	
	Millim.	Millim.			
9	0	0	40°	7°	Sol. Vento, força media
9 .30	3	3	42	10	Sol. Vento muito fraco
10	5	8	43	11	Sol. Calma
10.30	5	13	43	11	Sol. Vento fraco
11	2	15	40	8	Sol. Calma
11.30	4	19	40	7	Encoberto. Calma
12	8	27	48	15	Encoberto. Vento fraco
12.30	6	33	7	7	Variavel. Vento fraco
1	4	37	10	10	Sol. Vento fraco
1 .30	2	39	10	8	Variavel. Calma
2	3	42	10	8	Encoberto. Vento fraco
2 .30	1	43	7	5	Encoberto. Vento fraco
3	1	44	5	5	Encoberto. Vento fraco
4	1	45	4	4	Encoberto. Vento fraco
5	0	45	4	4	Encoberto. Vento fraco
Total	45	45	147	120	Em 7 horas — Sol
Media	2.81	2.81	9.2	7.5	» 1 » — Variavel
Max.	8	—	18	15	» 3 » — Encob. ^{to}
Min.	0	—	4	4	
Diff.	8	—	14	11	

Resta-nos fallar da situação das geleiras e das particularidades proprias das diversas regiões. Acerca do primeiro ponto só lembraremos que as geleiras mais expostas á influencia dos raios solares devem ser, e são com effeito as que soffrem uma ablação mais consideravel.

A respeito das particularidades proprias das diversas regiões da mesma geleira temos que podem estas ser filhas simplesmente da posição da parte da geleira que consideramos, ou podem resultar da presença de corpos estranhos.

Attendendo ás que apontámos em primeiro logar, vê-se bem que póde applicar-se á situação das diferentes partes da mesma geleira o que dissemos da situação de geleiras diferentes. Accrescentaremos, todavia, que quanto mais elevada é a região d'uma geleira, menor é a ablação; e assim devia ser, attendendo á relação intima que ha entre esta e a temperatura. Nas regiões superiores a ablação é quasi nulla. A media annual nos nevados não excede um metro, nas regiões medias é de 2 a $2\frac{1}{2}$ metros e nas inferiores de 3 a $3\frac{1}{2}$ metros ¹.

¹ Collomb (Ed.) — *Envahissement séculaire des glaciers des Alpes* — *Archives des sciences naturelles de Genève*, tom. x, pag. 30; Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tom. 2.º, deuxième partie, pag. 175.

Os corpos estranhos que se encontram sobre as geleiras, nuns sitios mais e noutros menos, modificam sensivelmente a ablação, preservando o gelo da acção dos raios solares. O aspecto das superficies depende até da abundancia d'estes corpos: quasi plana nos logares livres e descobertos, a superficie é pronunciadamente accidentada nos sitios onde abundam corpos estranhos, que, deixando fundir as partes circumvisinhas, só preservam aquellas sobre que assentam.

É desigual a acção d'estes corpos segundo o poder emissivo e absorvente de cada um para o calor. Mas de todas as substancias que podem cobrir a superficie d'uma geleira é a neve (embora esta não possa rigorosamente considerar-se como um corpo estranho) a que tem uma acção decisiva: — não ha ablação nos sitios onde uma espessa camada de neve se estende sobre o gelo; a agua neste estado é má conductora do calor, este gasta-se em fundil-a e em transformal-a em nevado se tudo se passa a uma altitude conveniente.

Resumindo: — a temperatura é o agente da ablação, e esta é por conseguinte favorecida em todas as occasiões em que aquella é mais intensa, e por todas as circumstancias que contribuem para que ella actue mais livremente.

Deduz-se do que dissemos uma relação intima entre a alimentação d'uma geleira e a ablação; parece até, á primeira vista, que as circumstancias que favorecem uma são as que favorecem a outra.

Esta relação existe, com effeito; mas attendamos a que a alimentação e a ablação, sendo ambas favorecidas pelas temperaturas elevadas, são-n'o todavia em circumstancias diversas de logar e tempo.

A alimentação que chamámos *directa*, ou *formação das geleiras*, dá-se principalmente nos logares elevados e durante os mezes mais frios; é pois nestas regiões e durante esta quadra do anno que as temperaturas relativamente elevadas são efficazes. A ablação dá-se principalmente nas regiões mais baixas e durante o verão; é pois nestes lo-

gares e neste tempo que a elevação de temperatura influe efficazmente neste phenomeno.

Estas duas funcções das geleiras, permitta-se-nos a expressão, sendo pois ambas, d'uma maneira geral, ajudadas pelas temperaturas elevadas, concebe-se bem como a differença nas temperaturas dos mezes mais frios e dos mezes mais quentes póde favorecer mais a alimentação do que a ablação, ou mais esta do que aquella. No primeiro caso ha sempre um ganho para a geleira, no segundo, apezar da *alimentação indirecta*, ha sempre uma perda.

III

Movimento das geleiras

Nas regiões superiores a ablação é insignificante, como acabámos de ver. A fusão que ahi se dá é a que serve para a alimentação, e é de sobra compensada pelas quédas de neve, que são lá mais frequentes e mais abundantes.

A 3000 metros de altura nos Alpes cahem, termo medio, 17 metros de neve por anno; estes 17 metros acamam e reduzem-se a 5; e porque um d'estes 5 desaparece, como vimos, pela ablação, são sempre 4 metros os que ficam por fundir. Ora é certo que estes 4 metros não se vão accumulando indefinidamente uns sobre os outros; se tal acontecesse só com a neve que tem cahido nos tempos historicos se teria já formado uma montanha cuja altura não seria inferior a qualquer das mais elevadas da cadeia dos Alpes. Devem pois esses restos de neve ir descendo, devem ir-se movendo para irem fundir-se mais abaixo, em sitios onde o effeito da ablação é sensivel ¹.

O movimento das geleiras é pois um facto que se prevê com toda a segurança. Este movimento deve começar nos *circos*, nos reservatorios onde a

¹ Collomb (Ed.) — *Envahissement séculaire des glaciers des Alpes*; Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude de glaciers*, tom. 1.º, deuxième partie, pag. 174.

neve se junta e onde os calores do verão são impotentes para fundir todas as que se accumulam durante o inverno.

Previsto pelo raciocinio, o facto do movimento das geleiras é já de tempos immemoriaes conhecido pelos que habitam as suas proximidades. Foi, todavia, só pelos principios do seculo passado que os homens da sciencia o admittiram como tal. Antes d'este tempo muitos não acreditavam nelle, e até havia quem dissesse que tal movimento era impossivel e absurdo. Reconhecida no entretanto a sua existencia, bem depressa se convenceram todos da importancia do assumpto e de quanto elle era merecedor d'um estudo attento e demorado.

Logo em 1705 appareceu, proposta por Scheuchzer de Zurich, uma theoria para explicar o phenomeno; em 1760 Altmann e Grüner propuzeram outra, que mais tarde foi desenvolvida por Horacio de Saussure; a esta succederam-se outras, de maneira que ainda antes de bem conhecido o facto já para elle não faltavam explicações.

Outros auctores, procedendo mais avisadamente, trataram primeiro de estudar o quanto e o modo d'este movimento, e depois é que procuraram razões que explicassem as particularidades que nelle tinham descoberto.

São tantas e tão rigorosamente feitas as observações e tamanha a auctoridade dos observadores, que a respeito dos resultados não é licita a minima duvida, e nos dados que hoje ha se póde depositar inteira confiança.

Não nos demoraremos a descrever miudamente o modo de observar, nem a analysar os resultados das diversas observações. Levar-nos-ia isso muito longe, e o que nos basta é o conhecimento dos resultados geraes. Limitamo-nos a dizer que desde Agassiz até hoje o processo geralmente seguido para observar a quantidade e o modo de movimento de qualquer região d'uma geleira consiste em fixar uma fileira de estacas na região da geleira que se quer observar, e em ver depois com o theodolito o quanto se deslocou cada estaca.

Foi observando assim na geleira do Aar e no Mar de Gelo de Chamonix, que Desor, Agassiz, Forbes e Tyndall, os primeiros no primeiro ponto e os dois ultimos no segundo, concluíram que as geleiras se moviam nos valles e nas gargantas onde estão estendidas, *como se fossem d'uma substancia plastica*, da mesma maneira que as correntes de agua liquida se movem nos seus leitos. Assim o movimento é mais rapido no centro e nas camadas superiores do que nas partes lateraes e nas camadas inferiores; é mais consideravel nos sitios onde a geleira é mais profunda do que nos sitios onde a sua possança é menor, accelera-se nas gargantas estreitas e retarda-se quando a massa de gelo se alastra numa larga bacia.

Finalmente, o que veio completar a analogia entre o modo de movimento das geleiras e o modo de movimento das correntes de agua liquida é a seguinte lei descoberta por Tyndall:—«Quando uma geleira se move num valle sinuoso, o logar dos pontos de movimento maximo não coincide com

a linha traçada ao longo do centro da geleira, mas está sempre situado do lado convexo da linha central. Fôrma pois uma linha de maior sinuosidade do que a do proprio valle, e cruza o eixo da geleira em todos os pontos de mudança de curvatura ¹. Esta lei dá conta ao mesmo tempo do facto já conhecido por Agassiz, e por elle chamado—migração do centro—².

Resulta ainda de observações de Tyndall feitas durante o inverno no Mar de Gelo que, nesta quadra do anno, o movimento é metade menor do que durante a quadra mais quente ³. E, posto que a este respeito não haja observações sufficientes, podemos suspeitar, com grandes probabilidades de acertar,

¹ Tyndall — *The glaciers of the Alps*; Dollfus-Ausset — *Matériaux pour l'étude des glaciers*, tom. 2.^o, deuxième partie, pag. 52.

² L. Agassiz — *Système glaciaire*, pag. 463.

³ Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 91.

que o movimento é também mais rápido durante as horas mais quentes do dia. A temperatura regula a velocidade do movimento das geleiras; accelera-o quando se eleva, retarda-o quando baixa.

Ora, dependendo o movimento das geleiras de tantas circumstancias, como as que deixamos apontadas, e variando não só nas differentes geleiras, mas até nos differentes logares da mesma geleira, vê-se bem como deve ser difficil determinar a media da velocidade d'este movimento. A parte central do Mar de Gelo caminha nuns sitios, segundo as medidas de Forbes e Tyndall, com uma velocidade de $0^m,51$ por dia, e noutros com uma velocidade de $0^m,89$. Na geleira do Gigante e na do Léchaud o movimento é mais vagaroso, é de $0^m,33$ por dia na primeira e de $0^m,23$ na segunda. Finalmente nas geleiras de segunda ordem o movimento é muito menor, é talvez de 20^m por anno.

Helmholtz calcula que, avançando $0^m,025$ por hora, as grandes massas de gelo das maiores geleiras de Alpes, precisam mais de cem annos as

neves das regiões mais elevadas para virem fundir-se nas regiões inferiores ¹.

É por isso que Réclus diz assim: «No seu conjunto, cada geleira póde considerar-se como formando dois rios, um que gasta annos e até um seculo a descer dos cumes para os valles com a fórma solida, o outro que corre nalguns dias e se manifesta com o aspecto d'uma torrente ².»

Mas qual é a verdadeira causa d'este movimento? Que razão ha para que elle se dê d'este modo? Que razão para que varie com aquellas circumstancias?... É a estas perguntas que muitas theorias têm pretendido responder; mas, diga-se a verdade, nenhuma o tem feito satisfactoriamente. Este é um dos pontos ainda duvidosos da theoria das geleiras, é um d'aquelles a que nos referiamos no principio d'este

¹ Helmholtz — *La glace et les glaciers*; *Revue des cours scientifiques*, 1865-1866, pag. 439; Tyndall — *Les glaciers et les transformations de l'eau*, pag. 209.

² Élisée Réclus — *La Terre*, I. Les continents, pag. 247.

capitulo, quando diziamos que nem este estudo estava completo nem tudo aqui era claro.

Todas as theorias que se têm proposto podem ser divididas em dois grandes grupos: as theorias que explicam o movimento *por escorregamento* da massa de gelo sobre o seu leito, e as que o explicam por *não escorregamento*.

Para os que dizem que a geleira vem escorregando, é a gravidade, é a pressão das massas superiores sobre as inferiores o agente do movimento das geleiras: — as geleiras movem-se em virtude do seu proprio peso.

Falta explicar como é que sob a acção da gravidade póde o gelo descer adaptando-se á fórma dos valles, estreitando-se nuns sitios, alargando-se noutros e contornando os obstaculos que não póde remover.— Move-se o gelo como uma substancia *viscosa*, disseram uns; move-se como uma substancia *plastica*, disseram outros.— E estes dois modos de ver foram tomados, não sabemos porque, como duas theorias; ao primeiro chamou-se *theoria da visco-*

sidade de Forbes; ao segundo *theoria da plasticidade* de Rendu. Suppondo que o gelo se possa tomar como uma substancia viscosa, o que evidentemente é impossivel, aquelles dois modos de ver parece-nos bem que não merecem o nome de duas theorias; são simplesmente a expressão d'um facto. O gelo move-se effectivamente *como se fosse uma substancia plastica*; mas porque? É na explicação do facto que deve consistir a theoria.

Essa explicação existe, deu-a Tyndall, lembrando o phenomeno da regelação. O gelo é realmente plastico, já o vimos, debaixo da influencia da pressão; o gelo das geleiras, por conseguinte, sollicitado pelo proprio peso e apertado pelo das camadas superiores, descera manifestando a plasticidade que nestas circumstancias possui. Tal é, na sua maxima simplicidade, a theoria do movimento das geleiras proposta por Tyndall, a que alguns chamam theoria do movimento *pela regelação*.

Esta theoria é a que modernamente vai ganhando mais proselytos e as tendencias para ella

têm-se pronunciado principalmente desde que se estabeleceu a analogia entre o movimento dos rios e o das geleiras.

Mas assim como esta theoria explica aquelle facto capital do movimento das geleiras, a analogia com o movimento dos rios explicará todas as particularidades d'este phenomeno? Ha uma que não explica: é a ligação entre a temperatura e a velocidade.

E depois consideremos que algumas geleiras de rampa muito ingreme não se movem, como parece que devia acontecer, com mais rapidez do que as de rampa mais suave. A geleira de Grünberg, por exemplo, cujo leito tem uma inclinação de 30° a 50° , anda 22 metros num anno, segundo Desor; e a do Aar, cuja inclinação é, termo medio, de 4° , anda no mesmo tempo 77 metros. Não está bem estudado o movimento das geleiras de segunda ordem, e não se sabe por isso até que ponto seguirá as mesmas leis que o das grandes geleiras de primeira ordem.